www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

18e JAARGANG No. 5-6, blz. 145-192 MEI-JUNI 1956

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUKTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

BETROUWBAARHEID EN LEVENSDUUR VAN PROFESSIONELE VERSTERKBUIZEN

door K. RODENHUIS, H. SANTING en H. J. M. van TOL. 621.385:621.375.2

Het gebruik van professionele elektronische apparatuur is de laatste jaren zeer sterk toegenomen. Niet alleen in de telecommunicatie is dit het geval, maar eveneens in nieuwere toepassingen zoals industriële meet- en regelinrichtingen, elektronische rekenmachines, navigatiemiddelen voor scheep- en luchtvaart, en bepaalde, niet bij het voorgaande onder te brengen, militaire toepassingen. Een modern verkeersvliegtuig zoals een Superconstellation met radar heeft ca. 500 elektronenbuizen aan boord. Amerikaanse publikaties maken melding van aantallen als 2000 elektronenbuizen in een bommenwerper en 10 000 aan boord van een slagschip.

Het is duidelijk dat door het snel toenemend professionele gebruik van elektronenbuizen de betrouwbaarheid van deze onderdelen meer en meer in het centrum van de belangstelling is komen te staan, vooral wegens de dikwijls ernstige gevolgen die het uitvallen van een buis kan hebben. Voor de onderling samenhangende begrippen „betrouwbaarheid" en „levensduur", waaraan in de vakliteratuur al menige beschouwing is gewijd, worden nieuwe definities gegeven. Daarbij sluit aan de bespreking van de maatregelen die in de fabricage zijn genomen, en van die welke de gebruiker kan nemen, ter verbetering van betrouwbaarheid en levensduur.

Oorspronkelijk vond de radiobuis zijn toepassingsgebied voor het overgrote deel in radio-ontvangtoestellen. Later zijn daar de televisieontvangers bij gekomen. Beide toepassingen breiden zich nog steeds uit. Daarnaast heeft de laatste jaren het zg. professionele gebruik een enorme vlucht genomen. Wij kunnen hier in hoofdzaak vier toepassingsgebieden onderscheiden: versterkers voor de telefonie, elektronische rekenmachines, industriële meet- en regelinrichtingen, en mobiele zenders en ontvangers. Enige moderne, zg. „Special Quality", buizen voor deze toepassingen vindt men afgebeeld in *fig. 1*.

De ernstige gevolgen die het uitvallen van een buis in een professionele apparatuur kan hebben, leiden ertoe dat men hier niet kan volstaan met de eisen die gewoonlijk aan buizen worden gesteld, b.v. eisen betreffende de steilheid, het uitgangsvermogen, de geschiktheid voor bredebandversterking, en dergelijke. Het zal niemand verwonderen dat men voor professionele buizen als extra-eis betrouwbaarheid moet vooropstellen, daar de apparatuur te allen tijde klaar moet staan om te werken en niet plotseling mag uitvallen. Verder kunnen eigenschappen als lange levensduur, geringe spreiding in de elektrische karakteristieken, en grote schokvastheid van belang zijn, zij het ook niet in alle vier genoemde toepassingsgebieden in dezelfde mate. Zo zal men voor telefonieversterkers en rekenmachines wèl een lange levensduur en een geringe spreiding verlangen, maar aan schokken of trillingen staan de buizen bij deze toepassingen niet bloot. Daarentegen moeten buizen voor zenders en ontvangers aan boord van vliegtuigen bestand zijn tegen sterke trillingen, doch een zekere spreiding in de karakteristieken is daar meestal geen bezwaar, en indien zij slechts gedurende korte tijden met lange tussenpozen werken, is ook de levensduur geen probleem.

De begrippen „betrouwbaarheid" en „levensduur"

Allereerst willen wij nu trachten, de begrippen „betrouwbaarheid" en „levensduur" te preciseren. Wij stellen ons daartoe een bepaalde elektronische apparatuur voor die van een groot aantal S_0 (b.v. 1000) nieuwe buizen van hetzelfde type is voorzien

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

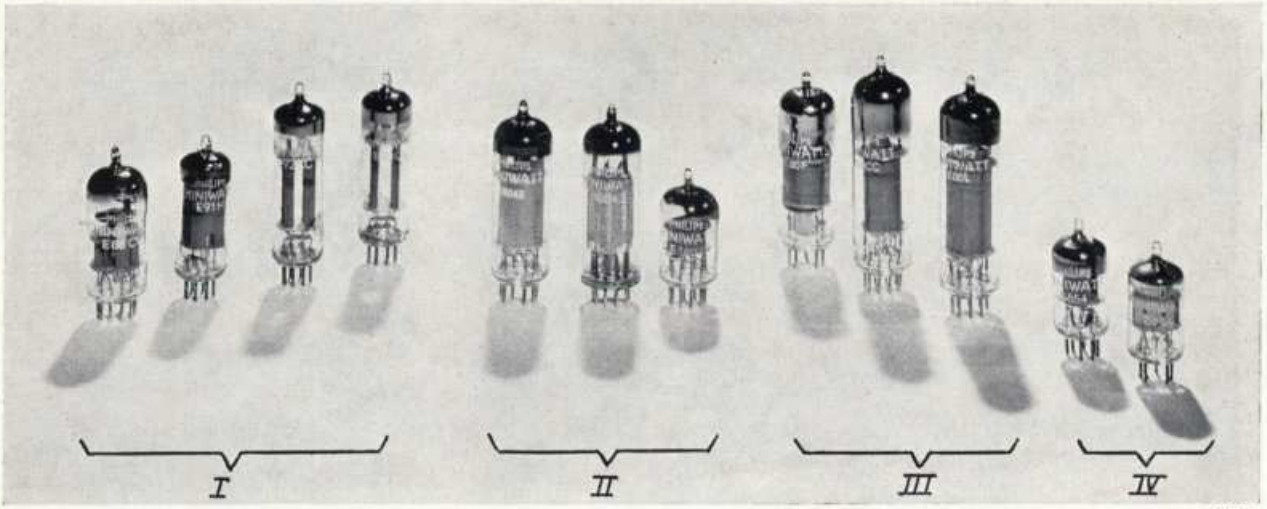


Fig. 1. Enige moderne professionele „Special Quality" versterkbuizen.
Groep I. Buizen voor elektronische rekenmachines (grote betrouwbaarheid, lange levensduur (ook in afgeknepen toestand), kleine karakteristiekenspreiding voor schakelfuncties): E 88 CC, E 91 H, E 92 CC, E 90 CC.
Groep II. Buizen voor telefonieversterkers (grote betrouwbaarheid, lange levensduur, kleine karakteristiekenspreiding voor versterkfuncties): 18045, 18042, E 180 F.
Groep III. Buizen voor regel- en meetapparatuur (zelfde kenmerken als groep II, bovendien schokvast): E 80 F, E 80 CC, E 80 L.
Groep IV. Buizen voor mobiele radiostations (grote betrouwbaarheid en schokvastheid): 5654, 5726.

en op een bepaald ogenblik voor lange tijd in werking wordt gesteld. Iedere uitval van een buis wordt geregistreerd, zodat men op ieder tijdstip t kan zien hoe groot het aantal van de oorspronkelijke buizen is dat nog werkt (S). Zet men S/S_0 op logaritmische schaal uit als functie van t, dan ontstaat een kromme zoals er in *fig. 2* enige zijn afgebeeld, die alle aan de literatuur zijn ontleend [1)][2)][3)][4)][5)].

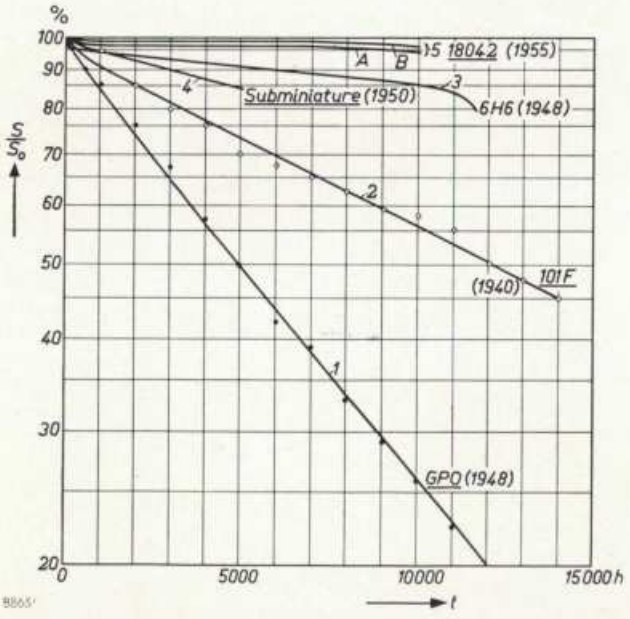


Fig. 2. Percentage S/S_0 op logaritmische schaal, als functie van de tijd t, bij levensduurproeven met verschillende buistypen. De krommen *1* . . . *5* zijn ontleend aan de literatuur [1)] . . . [5)]. Bij de krommen zijn vermeld het buistype en het jaartal van de publikatie. De gegevens voor de krommen *5A* en *B* werden verkregen uit een proef waarvoor welwillende medewerking werd verleend door de Nederlandse P. T. T.

Merkwaardig is de door Lewis [1)] gevonden kromme *1*; ze is vrijwel een rechte lijn, waarvan de vergelijking is:

$$S/S_0 = e^{-Pt}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Hierin is P een constante. Uit deze eenvoudige uitdrukking kunnen enige interessante conclusies worden getrokken. Voor het aantal buizen dat uitvalt per tijdseenheid, dus $-\mathrm{d}S/\mathrm{d}t$, vinden we: $PS_0\ e^{-Pt} = PS$. Bij gevolg is de relatieve uitval per tijdseenheid (het uitvalcijfer, analoog met het sterftecijfer van een bevolking), $-(\mathrm{d}S/\mathrm{d}t)/S$, gelijk aan de constante P en dus onafhankelijk van de tijd.

De gemiddelde levensduur L_m van de groep vinden we voor het geval van de kromme *1* uit

$$L_m = \frac{1}{S_0}\int_0^\infty S_0\ e^{-Pt}\,\mathrm{d}t = \frac{1}{P}. \quad . \quad . \quad (2)$$

Voor de kromme *1* is $P = 0{,}135 \times 10^{-3}\ \mathrm{h}^{-1}$ (uitval-

[1)] N. W. Lewis, Post Office Electr. Engr's J. **41**, Part I, 10-12, 1948.
[2)] D. K. Gannet, Bell Labs. Rec. **18**, 378-382, 1940.
[3)] C. R. Knight, A.I.E.E. Conf. Electron tubes for instrumentation and industrial use, Philadelphia, 29-30 maart 1948.
[4)] Eleanor M. MacElwee, Sylvania Technologist **3**, 16-20, april 1950.
[5)] K. Rodenhuis en W. Sparbier, Elektron. Rdsch. **9**, 22-25, jan. 1955 en 72-74, febr. 1955.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

cijfer 13,5% per 1000 h), dus $L_m = 1000/0{,}135 = 7500$ h.

Op het tijdstip $t = L_m$ bedraagt het aantal overlevenden:

$$S_{L_m} = S_0\, e^{-1} = 0{,}368\, S_0,$$

zodat er dan nog 36,8% van het oorspronkelijke aantal buizen in werking is. Ten tijde $t = 2L_m$ is dit aantal $S_{2L_m} = S_0\, e^{-2}$, enz.: in elke periode L_m neemt het percentage overlevenden met een factor e af. Dit betekent dat de buizen die al duizenden uren hebben gewerkt, zich in geen enkel opzicht onderscheiden van geheel nieuwe buizen, en dat het derhalve geen zin heeft, ze door nieuwe te vervangen. Uiteraard geldt dit slechts voor een rechte lijn, zoals *1*.

Reeds Lewis [1]) heeft opgemerkt dat een recht verloop alleen te verwachten is onder volkomen onbeheerste omstandigheden. Daarom kan een rechte lijn ook niet als representatief voor het normale geval worden beschouwd. O.i. moet veeleer een kromme zoals *3*, gepubliceerd door Knight [3]), als normaal worden beschouwd. Hier vindt men een steile daling gedurende de eerste paar honderd uur, en vervolgens een lang, tamelijk recht stuk met kleine helling, dat na vele duizenden uren opnieuw in een sterk dalende kromme overgaat.

Een dergelijk verloop is als volgt te verklaren. In het begin vertonen sommige buizen de gevolgen van fabricagefouten die bij de controle aan de aandacht zijn ontsnapt (b.v. slechte lassen, het bijna optreden van kortsluiting tussen elektrodes, e.d.). Nadat deze buizen zijn uitgevallen, treedt nog slechts nu en dan een „toevallige" uitval op, tot ten slotte bepaalde soorten van „niet-toevallige" uitval gaan overwegen, namelijk die welke verband houden met langzaam verlopende fysische en chemische processen in en nabij de katode, zoals geleidelijk achteruitgaan van de emissie, geleidelijk afnemen van de isolatieweerstand tussen de elektrodes, enz.

Van een kromme met zulk een verloop kan het volgende worden gezegd:

1) In het rechte middendeel van de kromme gedragen de buizen zich ongeveer als buizen waarvoor de exponentiële wet, verg. (1), geldt.
2) Tevoren, gedurende de eerste 100 à 1000 uur, was het uitvalcijfer groter. Buizen die al enige honderden uren hebben gewerkt, zijn dus betrouwbaarder dan nieuwe buizen.
3) Pas voorbij het rechte stuk, wanneer het uitvalcijfer toeneemt, wordt het raadzaam (tenzij bepaalde voorzorgen zijn genomen, zie later) de overlevenden en bloc door nieuwe buizen te vervangen.

In aansluiting op dit laatste zouden wij als einde van de „praktische levensduur" L_p willen definiëren *het tijdstip waarop het uitvalcijfer begint toe te nemen* (*fig. 3*). Dit tijdstip is uiteraard niet alleen afhankelijk van de kwaliteit der buizen, maar ook van de afwijkingen die in bepaalde buiseigenschappen mogen optreden voordat de schakeling waarin de buis dienst doet, niet meer goed functioneert. Twee in dit opzicht belangrijke buiseigenschappen zijn de steilheid en de stuurroosterstroom. Om een objectief criterium te hebben,

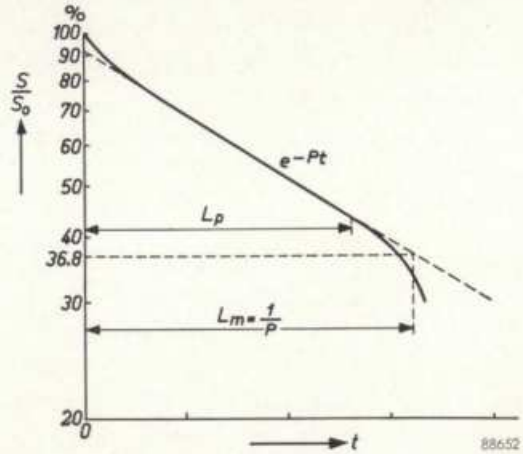


Fig. 3. Ter illustratie van de begrippen „gemiddelde levensduur" L_m en „praktische levensduur" L_p (L_p eindigt wanneer het uitvalcijfer begint toe te nemen).

beschouwt men veelal een buis als onbruikbaar geworden wanneer de steilheid is gedaald tot 70% van de nominale waarde, of wanneer de stuurroosterstroom (onder gedefinieerde omstandigheden) is opgelopen tot 1 μA. Zo nodig kan men voor bijzondere toepassingen (elektronische rekenmachines b.v.) andere criteria kiezen.

Andere levensduurdefinities zijn gegeven door Gannet [2]), die de gemiddelde levensduur volgens (2) als maatstaf wil nemen, en door Eleanor MacElwee [4]), die als levensduur beschouwt de tijd waarna nog 80% van de buizen over is.

De definitie van Gannet is bruikbaar bij exponentiële karakteristieken (rechte lijnen in fig. 2), maar geeft bij de meer representatieve, zoals *3*, een waarde waaraan men in de praktijk weinig heeft. Volgens de definitie van El. MacElwee betekent een „levensduur van 5000 h" in feite slechts dat het uitvalcijfer ongeveer 4% per 1000 h is. Het uitvalcijfer nu is een grootheid die wij liever met betrouwbaarheid dan met levensduur in verband zouden willen brengen (zie beneden).

Tijdens de praktische levensduur (behalve in het begin) is het uitvalcijfer constant en betrekkelijk klein. *Dit* uitvalcijfer bepaalt in hoofdzaak de frequentie van de storingen die als gevolg van buisuitval zullen optreden. De reciproke waarde

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van dit uitvalcijfer willen wij beschouwen als maat voor de betrouwbaarheid: hoe vlakker de kromme loopt, des te groter is de betrouwbaarheid.

Als voorbeeld van het gedrag van een buis met grote betrouwbaarheid zijn in fig. 2 de krommen *5A* en *5B* getekend [5]), die beide gelden voor het type 18042 (een pentode voor telefonieversterkers). De twee krommen hebben betrekking op verschillende toepassingen. De kromme *5A* is gevonden uit een proef waarbij de buizen dienst deden in een schakeling die zeer gevoelig is voor isolatiefouten in de buis. Daarom werd iedere buis wanneer daarin een bepaalde isolatieweerstand tot 1 MΩ was gedaald, door een relais als uitgevallen gesignaleerd. De kromme *5B* geldt voor even zwaar belaste buizen 18042, nu echter in een gewone laagfrequentieversterker, waarin een daling van de isolatieweerstand tot 1 MΩ geen kwaad kon en daarom niet werd gesignaleerd. In het rechte stuk vertoont *5A* een helling van 0,5% per 1000 h, *5B* een van 0,25% per 1000 h. Na 10 000 h was nog geen neiging tot ombuigen te bespeuren.

Naar onze mening is met deze cijfers nog niet het uiterste bereikt. Men mag verwachten dat op grond van verdere ervaring het uitvalcijfer van professionele buizen gereduceerd zal kunnen worden tot ca. 0,1% per 1000 h. Er zullen niet veel toepassingen zijn waarvoor dit een nog onvoldoende betrouwbaarheid betekent.

Bij het uitvallen van een buis kan men onderscheid maken tussen plotselinge en geleidelijke uitval. Plotselinge uitval kondigt zich door niets van tevoren aan en kan bestaan in elektrische onderbreking, kortsluiting, sprong van het glas, e.d. Van geleidelijke uitval spreekt men bij langzaam afnemen van de emissie (gepaard gaand met vermindering van de steilheid en van het uitgangsvermogen), bij slechter wordende isolatie, bij toenemen van de roosterstroom, enz. Door regelmatig bepaalde metingen aan de buizen van een installatie te doen, ziet men geleidelijke uitval tevoren aankomen; als men tijdig die buizen vervangt waarvoor dit nodig wordt, kan men ernstige storingen voorkomen. Dit „preventieve onderhoud" heeft als voordeel boven het vervangen en bloc dat men alleen die buizen vervangt waarbij daartoe aanleiding bestaat. Het kan een nadeel zijn — vooral bij installaties met grote aantallen buizen — dat de apparatuur tijdens het meten geheel of gedeeltelijk buiten werking is. Er zijn echter controlemethodes uitgewerkt waarbij de installatie in werking blijft. Men maakt daartoe de omstandigheden waaronder de buis werkt, ongunstiger, zodat een achteruitgang in enigerlei opzicht beter te constateren is. In een telefonieversterker b.v. kan men de gloeispanning verlagen of de weerstand in de stuurroosterkring verhogen, en het effect hiervan op de anodestroom meten, zonder dat de buis uit het apparaat wordt genomen en terwijl dit laatste in dienst blijft. In elektronische rekenmachines past men bij voorkeur het zg. „marginal checking" toe, d.w.z. men gaat na hoeveel de amplitude of de herhalingsfrequentie van stuurimpulsen gevarieerd kan worden voordat de machine fouten gaat maken.

Door een doeltreffend preventief onderhoud voorkomt men niet alleen bedrijfsstoringen, maar kan men de buizen ieder afzonderlijk tot nagenoeg het einde van de levensduur blijven gebruiken. Het spreekt vanzelf dat dit kan leiden tot grote kostenbesparingen.

In het volgende willen wij eerst de geleidelijk, dan de plotseling optredende fouten bespreken. Daarna komen de contacten tussen buis en buishouder, de spreiding van de karakteristieken, de soliditeit van de constructie en de controle van de kwaliteit ter sprake.

Geleidelijk optredende fouten

Verschijnselen aan de katode

De meeste buizen hebben een indirect verhitte oxydekatode. Deze bestaat uit een laag mengkristallen van BaO en SrO (en soms CaO), aangebracht op een nikkelen buisje, dat van binnen uit door een wolfraamdraad wordt verhit tot een temperatuur van 750 tot 800 °C [6]). De verzadigingsstroomdichtheid van zulk een katode ligt tussen 2,5 en 25 A/cm².

Voorwaarde tot het optreden van dergelijke grote stroomdichtheden is een lage uittreepotentiaal van het oxydenmengsel. De uittreepotentiaal is alleen laag indien een kleine fractie van de Ba-atomen (in de orde van 0,01%) niet aan zuurstof is gebonden. Op twee manieren kunnen in het laagje vrije Ba-atomen ontstaan:

a) door reactie van het BaO met reductiemiddelen die in het nikkel voorkomen (deze bijmengselen maken minder dan 1% van het gewicht van het katodebuisje uit, maar zijn niettemin voor de emissie uiterst belangrijk);
b) door elektrolyse, dus door stroomdoorgang.

Tijdens het werken van de buis zijn er echter ook oorzaken waardoor de hoeveelheid vrij barium afneemt, en wanneer dit laatste sneller geschiedt

[6]) Zie b.v. R. Loosjes en H. J. Vink, Philips techn. T. **11**, 275-276, 1949.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

dan de produktie van vrij barium, zal de emissie geleidelijk achteruitgaan. De oorzaken van het verdwijnen van vrij barium zijn zowel van fysische aard (verdamping) als van chemische (zg. vergiftiging).

Vergiftiging kan te wijten zijn aan restgas. Zelfs de beste methodes van pompen en gasbinden laten in de buis nog een druk van ca. 10^{-7} mm Hg achter. Dit betekent weliswaar dat het aantal gasmoleculen in de buis 10^{10} maal zo klein is als het bij atmosferische druk zou zijn, maar er zijn toch nog altijd 3×10^9 moleculen per cm^3 in de buis aanwezig. Bovendien kunnen de elektrodes en de glaswand op den duur gas afgeven. Er komen dus onvermijdelijk gasmoleculen met de katode in aanraking, positieve ionen worden er zelfs naar toe getrokken, en bij deze moleculen en ionen zijn er die zich met vrij barium verbinden. Behalve restgas, kan katodevergiftiging nog een andere oorzaak hebben. Aan het oppervlak van elektrodes, glas en mica zijn verschillende verbindingen geadsorbeerd, o.a. verdampingsprodukten van de katode. Staan deze bloot aan elektronenbombardement, dan kunnen zij ontleed worden tot stoffen die zich met vrij barium verbinden.

Een ander proces dat in de katode optreedt en tot uitval van de buis kan leiden, hangt samen met de aard van de reductiemiddelen die zich in het katodenikkel bevinden. Gebleken is dat b.v. silicium de slechte eigenschap heeft, tussen het katodebuisje en de emitterende laag een met de tijd dikker wordend laagje bariumorthosilicaat (Ba_2SiO_4) te vormen, dat een hoge weerstand heeft. Dit laagje groeit des te sneller naarmate de katode heter is en de stroom kleiner; het vormt zich dus vooral wanneer de katode warm en de buis stroomloos is. Het effect van deze tussenlaag is hetzelfde als dat van een weerstand in de katodeleiding, overbrugd met een condensator (capaciteit in de orde van 10 000 pF): behalve vermindering van de katodestroom, treedt er tegenkoppeling op, vooral voor lage frequenties [7]).

Van groot belang is het gedrag van al deze processen als functie van de katodetemperatuur. Reeds bij 50 tot 100 °C beneden de normale temperatuur is de katode aanmerkelijk gevoeliger voor vergiftiging; dit komt doordat de aanvoer van vrij barium naar het katodeoppervlak door diffusie, zoals alle diffusieprocessen, bij lage temperatuur langzamer verloopt, en ook doordat tussen barium en andere elementen bepaalde reacties die niet bij de normale werktemperatuur optreden, dit wèl doen bij iets lagere temperaturen. Verhoging van de katodetemperatuur leidt evenwel tot sterkere verdamping en begunstigt de vorming van de tussenlaag. Er is dan ook een optimale katodetemperatuur, en deze is lager naarmate men beter is geslaagd in het tegengaan van katodevergiftiging.

Ter verkrijging van het gunstigste resultaat moet zowel de buizenfabrikant als de toestelontwerper (of de gebruiker van de buizen) bepaalde maatregelen nemen. Die welke men aan de fabricagezijde moet nemen, zijn de volgende:

a) Ter vermindering van vergiftigingsverschijnselen moet men de opstelling van elektrodes en eventuele schermen zo kiezen dat geen elektronen op glas of mica terechtkomen. Verder moet men streven naar zo groot mogelijke zuiverheid van de onderdelen (ontvetten, koken in water, ontgassen door gloeien in vacuo vóór het monteren), stofvrij monteren, langdurig pompen, doeltreffende gasbinders gebruiken.

b) Als voor te schrijven katodetemperatuur moet men de laagste kiezen die met het oog op vergiftiging nog toelaatbaar is (wegens gloeispanningsschommelingen moet hier natuurlijk een zekere marge worden gelaten).

c) Om vorming van de tussenlaag tegen te gaan, moet men zg. „passief" nikkel voor het katodebuisje gebruiken, d.i. nikkel met ca. 0,03% Mg en niet meer dan 0,01% Si (gewoon nikkel bevat tot ca. 0,1% Si). Met passief nikkel duurt het in de fabricage wel langer voordat de katode geactiveerd is, maar nadat de buizen 10 000 h met de normale katodetemperatuur hebben gewerkt, is er nog geen tussenlaag met meetbare weerstand gevormd.

Zoals gezegd, kan ook de toestelontwerper door het nemen van bepaalde maatregelen veel bijdragen tot verlenging van de praktische levensduur der buizen:

a) Gloeispanning. Men houde zich in het algemeen aan het voorschrift, de gloeispanning niet meer dan $\pm 5\%$ van de nominale waarde te laten afwijken. (In dit verband is het van belang, serievoeding van gloeidraden zoveel mogelijk te vermijden.) Geeft men zich de moeite de gloeispanning tot op ca. 1% te stabiliseren, dan is het ten volle gerechtvaardigd, de gloeispanning b.v. 5% (in enkele gevallen zelfs 10%) beneden de nominale waarde te kiezen.

b) Ballontemperatuur. Om gasafgifte door het glas te beperken, zorge men ervoor dat de ballon nergens heter dan 170 °C wordt. Om deze reden

[7]) Van de uitgebreide literatuur over dit onderwerp noemen wij hier slechts: A. S. Eisenstein, The leaky-condenser oxide cathode interface, J. appl. Phys. **22**, 138-148, 1951, en M. R. Child, The growth and properties of cathode interface layers in receiving valves, Post Office Electr. Engr's J. **44**, 176-178, 1951/52.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

is voorzichtigheid geboden bij het gebruik van over de buizen geplaatste afschermbussen.

c) Anode- en schermroosterdissipatie. Te grote dissipatie veroorzaakt te hoge temperatuur van de anode en/of het schermrooster en van de katode, wat gevaar van gasafgifte resp. bariumverdamping meebrengt. Ten aanzien van vergiftiging is het niet onverschillig of een bepaalde dissipatie is verkregen bij hoge spanning en kleine stroom dan wel bij lage spanning en grote stroom. Bij hoge spanning treedt namelijk eerder vergiftiging op, vermoedelijk doordat vooral snelle elektronen in staat zijn, materiaal dat aan anode of schermrooster is geadsorbeerd, af te breken tot stoffen die de katode aantasten. Een gunstige conditie voor de buis is dus: kleine dissipatie bij lage spanning; de katodestroom kan zonder bezwaar groot zijn.

Isolatiefouten, roosteremissie en ionenstroom

Materiaal dat van de katode verdampt, kan aanleiding geven tot slechte isolatie indien het neerslaat op de micaplaatjes of op de bodem van de ballon, en tot roosteremissie indien het belandt op het stuurrooster. Middelen tegen dit soort van geleidelijk optredende fouten zijn: het gebruik van passief katodemateriaal en van een zo laag mogelijke katodetemperatuur, en het koel houden van het stuurrooster. De isolatie langs het oppervlak van de micaplaatjes kan aanmerkelijk worden verbeterd door ze te bedekken met een laagje magnesiumoxyde.

Bij negatieve spanning op het stuurrooster doen positieve gasionen in de buis een roosterstroom ontstaan. In goed gefabriceerde en van een goede gasbinder voorziene buizen echter is het aantal ionen dat per seconde het stuurrooster bereikt, zo klein dat men een roosterstroom in de orde van slechts 10^{-8} tot 10^{-9} A meet, en daarvan is dan nog een groot gedeelte te wijten aan een andere oorzaak. Op de elektrodes namelijk die aan elektronenbombardement blootstaan, ontstaan zachte röntgenstralen, en deze maken uit het stuurrooster fotoelektronen vrij. Echte „gasstromen" (in de orde van 1 μA) meet men alleen aan buizen die lek zijn of waarvan de gasbinder onvoldoende werkt; dit zijn echter volkomen abnormale gevallen, die alleen bij grove nalatigheid in de fabricage kunnen voorkomen.

De producent kan op deze beide fouten het best controle uitoefenen door de buizen, alvorens ze af te leveren, een maand lang te bewaren en dan de roosterstroom te meten. Controle op lek kan desgewenst sneller geschieden met de zg. argonproef. Een goede gasbinder bindt alle bestanddelen van de binnengelekte lucht met uitzondering van argon, dat voor ca. 1% in de lucht voorkomt. De argonproef bestaat hierin dat men de buizen b.v. 24 h lang bewaart in argon van 1 atm druk; daarna zijn eventuele lekken door meting van de roosterstroom gemakkelijk te constateren. In één dag imiteert men zo het bewaren in lucht gedurende 100 dagen.

De toestelontwerper zal veelal de invloed van onvolkomen isolatie en van roosterstroom kunnen verminderen door een zo laag mogelijke stuurroosterweerstand te gebruiken.

Plotseling optredende fouten

De oorzaken waardoor een buis plotseling uitvalt, zijn: elektrische onderbreking (b.v. een losgegane las), kortsluiting tussen twee elektrodes, glasfouten, en doorslag tussen katode en gloeidraad.

Onderbrekingen

Als in een versterkbuis een onderbreking optreedt, gebeurt dit bijna altijd aan een las, of vlak erbij. Het maken van betrouwbare lassen (i.c. puntlassen) is dus een belangrijk onderdeel van de buizenfabricage. Niet-destructief onderzoek van de lassen is in de praktijk niet mogelijk. Voor het maken van lassen van goede kwaliteit is men dus aangewezen op de volgende maatregelen:

1) De buizenconstructeur dient zijn ontwerp zo te maken dat alle lasplaatsen goed zichtbaar en toegankelijk zijn, en alleen goed lasbare materialen voor te schrijven.
2) De lasmachine moet zo geconstrueerd zijn dat het lassen in hoge mate reproduceerbaar geschiedt.
3) Door steekproeven moet men regelmatig de kwaliteit van de lassen onderzoeken.

Het tweede punt willen wij nader toelichten. De kwaliteit van een puntlas hangt af van een groot aantal factoren, zoals de druk op de lasplaats, de secundaire spanning van de lastransformator in onbelaste toestand, de impedantie van de secundaire keten, de faze van het inschakelmoment, de duur van stroomdoorgang, de aard van de te lassen materialen, de vorm en het oppervlak van de laselektrodes, de massa van de bewegende delen, en de atmosfeer waarin gelast wordt. In een modern lastoestel (*fig. 4*) worden alle variabelen nauwkeurig beheerst. Voor de lassen die het meest voorkomen, is de optimale druk ingesteld, na proefondervindelijk te zijn bepaald. In een tabel is voor iedere voorkomende las de secundaire spanning voorgeschreven; in het algemeen zijn twee of drie verschillende spanningen voldoende. De monteuse brengt de te lassen onderdelen in de juiste stand

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 4. Puntlasmachine. *1* is de vaste elektrode, *2* de beweegbare elektrode met stroomtoevoer *3*. Een reducerend gasmengsel ($H_2 + N_2$) wordt toegevoerd door de slang *4*.

tussen de elektrodes en zet dan met een pedaal het lasproces in gang, dat verder geheel automatisch en onafhankelijk van de menselijke factor verloopt. De primaire stroom van de lastransformator loopt over twee antiparallelgeschakelde thyratrons, die als lasschakelaar dienst doen. De faze van het inschakelmoment ligt vast, onafhankelijk van het ogenblik waarop het pedaal werd ingetrapt. Automatisch wordt de las beëindigd, meestal na verloop van één periode van de netfrequentie (voor de meeste gevallen is dit de gunstigste duur; soms echter is een duur van enige periodes wenselijk, en deze wordt verkregen met behulp van een stuurschakeling met koudekatodebuizen). De laselektrodes bestaan uit een koperalliage; zij worden regelmatig door nieuwe vervangen, en de afgesleten elektrodes worden door nabewerking opnieuw voor het gebruik geschikt gemaakt. Oxydatie van de lasplaats wordt vermeden door er een mengsel van waterstof en stikstof op te spuiten. De massa van de bewegende arm is klein gehouden, om de hierin bevestigde elektrode in staat te stellen, het ineenvloeiende materiaal zonder merkbare drukverlaging te volgen. Dank zij al deze maatregelen worden reproduceerbare lassen verkregen, waarbij de metalen mooi in elkaar zijn gevloeid.

Kortsluitingen

Kortsluitingen doordat twee elektrodes rechtstreeks met elkaar in contact zijn gekomen (men bedenke dat afstanden van 100 μ en zelfs 50 μ geen uitzondering zijn!), zijn in de regel gemakkelijk tijdig te ontdekken en men treft ze in het gerede produkt dan ook uiterst zelden aan. Een veel ernstiger probleem zijn kortsluitingen, althans geleidende verbindingen, die ontstaan door losse deeltjes in de buis. Deze kunnen overgangsweerstanden vertonen die variëren van de orde van 10^7 tot 1 ohm. Dergelijke „kortsluitingen" zijn dikwijls slechts intermitterend aanwezig, wat het opsporen ervan zeer bemoeilijkt.

Om deze kwaal te kunnen bestrijden, moet men weten waar de losse deeltjes vandaan komen. In de eerste plaats blijken zij afkomstig te zijn uit de omgevende lucht. In de montageafdeling mag daarom alleen gefiltreerde lucht toegang hebben. Produktie van stof in de afdeling wordt tegengegaan door voor wanden, tafels, eventuele gordijnen, enz. materialen te kiezen die weinig stof afgeven. Herhaaldelijk vochtig schoonmaken van tafels en vloeren is geboden. Een vloerbedekking van goed gewast linoleum is een goede stofvanger. Het monte-

Fig. 5. *a*) Monteren van het elektrodesysteem van een versterkbuis. Deze handeling geschiedt, evenals die in fig. 5*b*, onder een doorzichtige kap, die stof afsluit. Onder de voorzijde van de kap een gordijntje van nylon, dat zelf geen stof afgeeft.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 5*b*. Puntlassen van het elektrodesysteem van een versterkbuis.

ren en het lassen geschieden onder een stofkap, van voren afgesloten met een gordijntje van nylon (*fig. 5a* en *b*).

De gebruikte onderdelen zelf moeten natuurlijk ook vrij van stof zijn. Daartoe worden ze in de eerste plaats al zo stofvrij mogelijk gefabriceerd, dan door wassen en verhitten van de laatste stofresten ontdaan, en verpakt bewaard en naar de montageafdeling vervoerd. Als verpakkingsmateriaal dat zelf geen stof afgeeft, komen alleen metaal, glas en kunststoffen in aanmerking. Voor het vervoer en het bewaren van roosters b.v. is een verpakking van metaal ontworpen waarin de roosters ook tijdens het wassen en verhitten kunnen verblijven.

Ten slotte nog zijn er de losse deeltjes die bij het fabriceren ontstaan: druppeltjes metaal die bij het lassen zijn weggespat, afgebrokkeld katodemateriaal en afgebladderde stukjes mica (deze worden op den duur geleidend, als er verstoven katodemateriaal op neerslaat). Weggespat metaal wijst op onjuiste instelling van de lasmachine, afgebrokkeld katodemateriaal op onzorgvuldige fabricage van de katode. Micaplaatjes van een nieuwe vorm (*fig. 6b*) bladderen veel minder af dan mica in de oude vorm (fig. 6*a*).

Ondanks de opgesomde maatregelen blijft de kwaliteit van de buizen nog voor een deel afhankelijk van de monteuse. Niet voldoende is het, te zorgen dat zij beschikt over de beste hulpmiddelen en dat de handgrepen die zij heeft te doen, eenvoudig en weinig vermoeiend zijn; evenzeer is nodig dat de omgeving waarin zij werkt, door orde en zindelijkheid in overeenstemming is met de kwaliteit die men van het te fabriceren produkt verlangt. Van bijzonder veel gewicht is het, de monteuse begrip voor het belang van haar werk bij te brengen; hiertoe kan een leerperiode veel bijdragen. Ten slotte nog is ook de gevolgde loonpolitiek van grote invloed op het resultaat. Naar onze mening voldoet het best een stukloon in combinatie met een premie die afhangt van de kwaliteit van het geleverde werk; de kwaliteit wordt uitgedrukt in een beoordelingscijfer, dat uit steekproeven wordt vastgesteld.

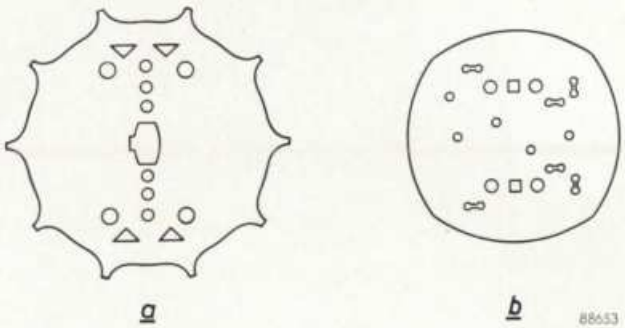


Fig. 6. Oude vorm (*a*) en nieuwe vorm (*b*) van de micaplaatjes. Bij de nieuwe vorm komt minder afbladdering voor.

Glasfouten

Nadat de elektrodes op de metalen staafjes zijn gemonteerd die in een glazen bodem zijn ingesmolten, moet deze bodem aan de ballon worden gesmolten. Dit gebeurt in een automatische insmeltmachine. Deze moet voortdurend worden gecontroleerd, anders zouden insmeltingen ontstaan die later door sprong de buis plotseling zouden kunnen doen uitvallen. De variabele elementen zijn hier de gasvlammen, die in intensiteit en lengte afhangen van samenstelling en druk van het gas, en het glas, dat geen volkomen constant produkt is. Vóór iedere fabricageserie laat men de machine een aantal „dummies" insmelten; deze controleert men met een polariscoop op spanning in het glas [8]), en men maakt er een doorsnede van om de vorm van de insmelting te beoordelen. Nadat de insmeltmachine optimaal is ingesteld, begint de produktie. Ieder uur worden steekproeven genomen: enige buizen worden na afkoeling in kokend water gedompeld terwijl door middel van een metalen kegel van voorgeschreven vorm de contactpennen uit

[8]) Philips techn. T. **9**, 277-285, 1947; **15**, 68, 1953.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

elkaar worden gedrukt; onmiddellijk daarna worden de steekproefbuizen in koud water gebracht. Komen er nu barstjes voor, dan vindt men daarin een aanwijzing hoe de instelling van de machine kan worden verbeterd. Na het pompen worden alle buizen even in kokend water gedompeld. Hierbij mag geen enkele uitval optreden; elke sprong die voorkomt, is een teken dat de machine moet worden bijgeregeld.

Doorslag tussen gloeidraad en katode

Een verschijnsel dat zijn oorzaak vindt in een langzaam verlopend fysisch-chemisch proces, maar niettemin plotseling optreedt, is doorslag van de isolatie tussen gloeidraad en katode [9]).

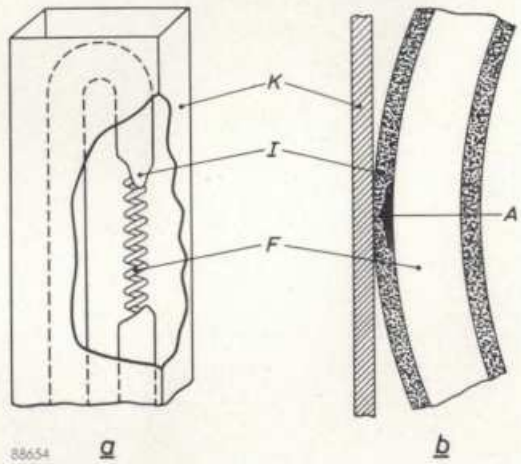


Fig. 7. *a*) Indirect verhitte oxydekatode. *K* nikkelen katodebuisje. *F* wolfraamgloeidraad, omgeven door een isolerende laag aluminiumoxyde *I*.
b) Heeft de gloeidraad een positieve spanning ten opzichte van de katode, dan vormt zich in het aluminiumoxyde, daar waar dit het katodebuisje raakt, een geleidend aluminiumwolframaat (*A*), wat tot doorslag tussen gloeidraad en katode kan leiden. (*a* en *b* zijn niet op schaal getekend.)

Het nikkelen buisje van een indirect verhitte katode wordt op een temperatuur van 750 tot 800 °C gebracht door een (meestal gespiraliseerde) gloeidraad van wolfraam, die zelf een temperatuur van ca. 1100 °C heeft (*fig. 7a*). Het enige materiaal dat bij deze hoge temperatuur geschikt is om de gloeidraad van de katode te isoleren en dat tevens voldoende hechtkracht en buigzaamheid bezit, is aluminiumoxyde (Al_2O_3). Een laag van dit materiaal wordt door spuiten of door elektroforese [10]) op de gloeidraad gebracht en vervolgens bij hoge temperatuur gesinterd.

In vele gevallen worden aan de doorslagvastheid van de isolatie geen hoge eisen gesteld. In een hoogfrequentieversterker met parallelgeschakelde gloeidraden b.v. is het spanningsverschil tussen de katodes en het midden van de gloeidraad maar een paar volt, namelijk de spanningsval in de katodeweerstand. Anders is het indien een aantal gloeidraden in serie zijn geschakeld of indien de katode fungeert als uitgangselektrode en een hoge spanning ten opzichte van aarde heeft. Dan bestaat het gevaar van doorslag als gevolg van elektrolytische aantasting van de aluminiumoxydelaag. Op maar enkele plaatsen is deze laag in aanraking met het katodebuisje; op die plaatsen staat het aluminiumoxyde bloot aan een, zij het ook zwakke, elektrolyse. Als de gloeidraad een positieve spanning ten opzichte van de katode heeft (de andere polariteit zullen we aanstonds beschouwen), gaan negatieve zuurstofionen naar de gloeidraad en oxyderen zij deze. Het zo gevormde wolfraamoxyde lost op in het aluminiumoxyde onder vorming van een aluminiumwolframaat (fig. 7*b*). Deze stof heeft een veel lagere soortelijke weerstand dan aluminiumoxyde. Na een zekere tijd — afhankelijk van de spanning V_{kf} tussen gloeidraad en katode en van de temperatuur — ontstaat doorslag, die tot volledige kortsluiting tussen de katode en een punt van de gloeidraad kan leiden. Als de impedantie in de uitwendige keten tussen katode en gloeidraad laag is, kan doorsmelten van de gloeidraad het gevolg zijn.

Fig. 8 toont de betrekking tussen V_{kf} (gloeidraad positief) en de tijd t waarin bij 1% van een groep buizen doorslag optreedt; parameter is de gloei-

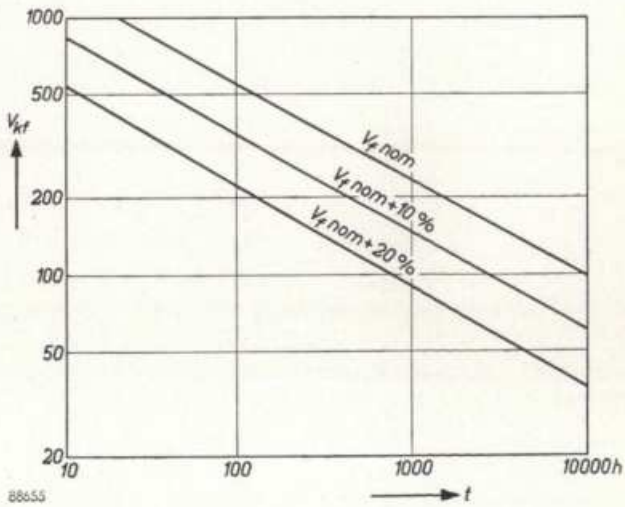


Fig. 8. Spanning V_{kf} (gloeidraad + ten opzichte van katode) als functie van de tijd t waarin 1% van de buizen doorslag gloeidraad-katode vertoont, bij de nominale gloeispanning $V_{f\,nom}$ (gloeidraadtemperatuur 1080 °C) en bij 10% en 20% hogere gloeispanning. (Oriënterende waarden, verkregen door extrapolatie uit versnelde proeven.)

[9]) Onderzoekingen aan dit verschijnsel zijn gedaan door P. G. van Zanten en P. N. Kuiper, van het Fysisch-chemisch Laboratorium der Elektronenbuizenfabriek te Eindhoven.
[10]) S. A. Troelstra, Philips techn. T. **12**, 297-307, 1950.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

spanning. (Deze figuur geeft slechts oriënterende waarden, verkregen door extrapolatie van versnelde proeven bij hogere spanningen en hogere temperaturen.) Duidelijk blijkt hoe opvoeren van V_{kf} de levensduur verkort en hoe dit afhangt van de gloeispanning. Verlangt men een levensduur van 10 000 h, dan is het aan te bevelen, V_{kf} niet hoger dan 100 V te nemen.

Minder ernstig is de toestand bij de omgekeerde polariteit (gloeidraad negatief). Daar nikkel minder gemakkelijk wordt geoxydeerd dan wolfraam, verloopt het proces ongeveer 10 maal zo langzaam. Dit betekent echter dat men, voor dezelfde levensduur, V_{kf} slechts 2 maal zo hoog mag nemen als bij de eerstgenoemde polariteit.

Om het aantastingsverschijnsel tegen te gaan, kan men trachten, aanraking tussen katode en gloeidraadisolatie te voorkomen, of althans via een lange isolatieweg te doen plaatshebben. Dit laatste wordt gedaan in de zg. boosterdiodes voor televisieontvangst, waarin piekspanningen van vele duizenden volt tussen katode en gloeidraad optreden. Deze methode is echter alleen uitvoerbaar bij grote katodes; ze heeft bovendien het nadeel dat de gloeidraad aanmerkelijk heter moet zijn, wat hem bros maakt. In vele professionele Philips buizen met kleinere katode is daarom een andere weg gevolgd: niet alleen de gloeidraad, maar ook de binnenkant van het katodebuisje is van een laag aluminiumoxyde voorzien. Dit is om verschillende redenen gunstiger dan het aanbrengen van een dikkere laag aluminiumoxyde op de gloeidraad:

a) De inwendige laag op het katodebuisje staat op een minder hoge temperatuur dan de laag die op de gloeidraad is aangebracht, wat de doorslagspanning ten goede komt.
b) Dank zij de grotere stralingsabsorptie van aluminiumoxyde ten opzichte van nikkel, is de warmteoverdracht beter, zodat de gloeidraadtemperatuur lager kan zijn.

In de praktijk blijkt dat het bij katodes met een inwendige laag aluminiumoxyde (waarvan b.v. de buizen E 80 CC en E 80 L zijn voorzien) 5 tot 10 maal zo lang duurt voordat er doorslag optreedt, resp. dat men, voor dezelfde levensduur, V_{kf} aanzienlijk hoger mag nemen.

Behalve de stroom die het aluminiumoxyde elektrolytisch aantast, kan er tussen gloeidraad en katode een andere, veelal grotere, lekstroom lopen, die echter met de beschreven doorslag in geen enkel verband staat. Deze stroom kan zijn oorzaak vinden in emissie (b.v. wanneer BaO op de gloeidraad of op het inwendige van het katodebuisje is terechtgekomen) of in ionengeleiding, als gevolg van onzuiverheden (b.v. natrium) in het aluminiumoxyde.

De contacten tussen buis en buishouder

Een buis staat met het overige deel van de schakeling in verbinding via pennen en contactveren. De kwaliteit van deze elektrische contacten is van grote invloed op de kwaliteit en de betrouwbaarheid van het geheel. Een onderzoek van Morrell [11]), van het Britse General Post Office, heeft uitgewezen dat niveauveranderingen (zelfs onderbrekingen) en ruis zoals die bij telefoonverbindingen over grote afstanden voorkomen, in belangrijke mate moeten worden toegeschreven aan slechte contacten, en voor een deel zijn dit buiscontacten. Morrell komt tot de gevolgtrekking dat de enige afdoende oplossing het in de bedrading vastsolderen van alle buizen is.

Een zo ver strekkende maatregel zouden wij alleen willen aanbevelen voor apparatuur waarvan de overige schakelelementen een levensduur hebben die van dezelfde orde is als die van de buizen, of korter. Meestal echter is de eerstgenoemde levensduur ettelijke malen langer dan die van de buizen, en dan zou o.i. het vervangen van gesoldeerde buizen te grote moeilijkheden opleveren. Nieuwe buizen en nieuwe buishouders van goede constructie maken over het algemeen uitstekend contact. Dat het contact op den duur slechter wordt, komt op rekening van corrosie. Alleen edele metalen blijven onder corrosieve omstandigheden goed contact maken. Langdurige proeven met buizen en buishouders waarvan de pennen resp. de contactveren waren verguld, gaven onder zeer ongunstige omstandigheden uitstekende resultaten. De meeste Philips „Special Quality" buizen worden tegenwoordig geleverd met vergulde pennen.

Spreiding in de karakteristieken

Verschillen in de karakteristieken van buizen van hetzelfde type zijn toe te schrijven aan verschillen in afmetingen of afstanden van de elektrodes, in uittreepotentiaal van het stuurrooster en in emissiviteit van de katode.

Als voorbeeld waaraan wij de invloed van diverse maten op de karakteristiek willen laten zien, kiezen wij de pentode 18042. De nominale afstand tussen katode en eerste rooster is hier 120 μ, die tussen eerste en tweede rooster 310 μ. De stuurroosterspanning V_{g1} en de steilheid S waarbij de anodestroom 10 mA is (bij een schermroosterspanning van 120 V), hangen af van de links vermelde maat zoals in de volgende tabel is opgegeven:

[11]) F. O. Morrell, voordracht, gehouden voor het London Centre of the Institution of Post Office Electrical Engineers, 5 april 1948.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

	Verandering van V_{g1} mV/μ	Verandering van S (mA/V)/μ
Diameter katode	10	0,06
diameter rooster 1	1,5	0,06
spoed rooster 1	90	—
draaddikte rooster 1	115	—
diameter rooster 2	5	—

Het is duidelijk dat bijzondere maatregelen nodig zijn als men V_{g1}, zoals bij de buis 18042 wordt verlangd, niet meer dan $\pm$ 330 mV van de nominale waarde wil laten afwijken. Het draad waarvan het eerste rooster wordt gewikkeld, moet dan bijzonder nauwe toleranties (in dikte en trekvastheid) vertonen, en ook de diameter van de katode komt er nauwkeurig op aan.

De uittreepotentiaal van het stuurrooster vertoont bij een nieuwe buis aanvankelijk fluctuaties, maar deze verdwijnen grotendeels als men de buis twee etmalen laat werken. De uittreepotentiaal hangt o.a. af van de mate waarin het stuurrooster is bedekt met erop neergeslagen katodemateriaal, d.w.z. van de katodetemperatuur. Het rooster is gevoeliger voor vergiftiging dan de katode, daar het zelf geen vrij barium kan produceren en dit dus alleen van de katode krijgt toegevoerd. Het enige dagen laten werken heeft tot doel, het oppervlak van het stuurrooster in de normale werkconditie te brengen; als deze eenmaal is bereikt, verandert de uittreepotentiaal niet veel meer.

Een nieuwe, elders uitgewerkte, roosterconstructie mag hier niet onvermeld blijven. Tot voor kort werden vrijwel alle roosters geconstrueerd volgens *fig. 9a*: het rooster bestaat uit schroefvormig gewonden molybdeendraad, gesteund door twee balkjes van nikkel, kopermanteldraad of een dergelijk materiaal; de windingen worden op hun plaats gehouden doordat zij rusten in insnijdingen in de balkjes, welke insnijdingen vervolgens zijn dicht geforceerd. De windingen, ovaal of rond van vorm, zijn hier tevens constructie-element, daar zij mede de afstand tussen de balkjes bepalen, die overigens slechts is gefixeerd door twee micaplaatjes. Bij de nieuwe constructie [12]) hebben de roosterwindingen geen mechanische functie meer. Deze is geheel toevertrouwd aan een stevig raam (fig. 9*b*), bestaande uit twee staafjes, die door vier strippen op de juiste afstand van elkaar worden gehouden. Het roosterdraad is zeer dun, b.v. 7,5 μ, en wordt strak om het raam gewikkeld, met een trekspanning overeenkomend met 60% van de trekvastheid. Het raam bestaat uit molybdeen, het draad uit wolfraam. De roosterwindingen worden aan het raam bevestigd, hetzij door solderen met goud, hetzij door vastsmelten met glaspoeder. De „diameter" van zulk een raamrooster (afstand tussen de tegenover elkaar liggende windingen) is geheel bepaald door de dikte van de staafjes, die binnen 5 μ nauwkeurig gefabriceerd kunnen worden.

In combinatie met maatregelen om de tolerantie in de afmetingen van de katode en de micaplaatjes te verminderen, maakt de raamroosterconstructie het mogelijk buizen te fabriceren met een afstand katode-stuurrooster van 50 μ, d.i. half zo groot als op bevredigende wijze mogelijk is met normale roosters. Er worden al verschillende Philips buizen met raamrooster gefabriceerd, b.v. E 180 F en E 88 CC (fig. 1); andere typen zullen binnenkort volgen.

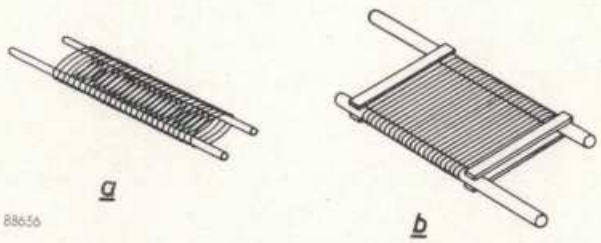


Fig. 9. Een rooster van normale constructie (*a*) en een modern „raamrooster" (*b*).

Trillingsvastheid

Sinds het gebruik van versterkbuizen in vliegtuigen enorm is toegenomen, heeft de kwestie van de trillingsvastheid meer en meer de aandacht gevraagd.

Als er ook maar enige speling tussen het micaplaatje en de ballon is, of tussen het micaplaatje en een onderdeel dat erdoor op zijn plaats wordt gehouden, zal het mica, wanneer de buis aan trillingen blootstaat, slijten, waardoor de speling groter wordt. Dit heeft een reeks schadelijke gevolgen. In de eerste plaats neemt de microfonie toe. In een later stadium kan de speling zo groot zijn geworden dat kortsluiting tussen twee of meer elektrodes ontstaat. Ook kan het mica gas afgeven en micaschilfers kunnen de katode vergiftigen. Door mechanische vermoeidheid kan breuk ontstaan, vooral in lassen, in de gloeidraad en in het katodestaartje (de verbinding van het katodebuisje met de doorvoerpen).

Ter verbetering van de trillingsvastheid moet men in de eerste plaats de krachten die op de onderdelen

[12]) G. T. Ford, Bell Labs. Rec. **27**, 59-61, 1949. E. J. Walsh, ibid. **28**, 165-167, 1950. G. T. Ford en E. J. Walsh, Bell Syst. tech. J. **30**, 1103-1128, 1951.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

werken, zien te beperken, dus zo licht mogelijke onderdelen gebruiken, en vermijden dat er bij lage frequenties (beneden 200 Hz, beter nog: beneden 1000 Hz) mechanische resonantie optreedt. De vroeger algemeen gebruikte, getande micaplaatjes (fig. 6*a*) hebben als nadelen dat bij trillen de tanden breken (vooral bij grote buizen), waardoor speling ontstaat en het mica afbladdert. Veel beter is de nieuwe, in fig. 6*b* afgebeelde vorm. Een bijzonder goede passing van het micaplaatje in de ballon krijgt men door de ballon ter hoogte van het mica een vernauwing te geven, waar de middellijn 0,1 tot 0,2 mm kleiner is dan de grootste diameter van het micaplaatje en zeer nauwkeurig vastligt. *Fig. 10* toont het inwendige van een buis waarin dit is toegepast. Ter vermijding van mechanische vermoeidheid van de gloeidraad is het nodig dat deze weinig speling ten opzichte van het katodebuisje heeft. Het katodestaartje kan voor afbreken worden behoed door het een ruime bocht te geven.

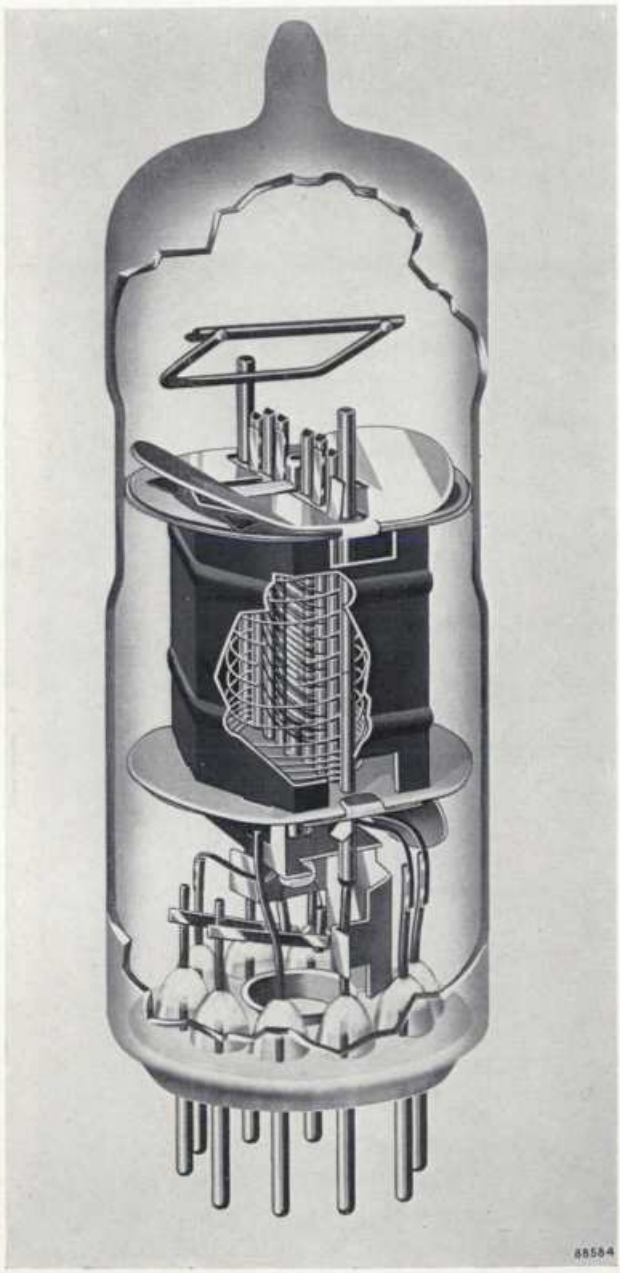


Fig. 10. Pentode E 80 F, met micaplaatjes volgens fig. 6*b*. Het bovenste micaplaatje past klemmend in een vernauwing van de ballon.

Er zijn methodes ontworpen om de buizen in mechanisch opzicht te beproeven. Bij Philips stelt men de Amerikaanse militaire eisen als norm. Deze schrijven o.a. een trillingsproef voor, die 96 h duurt, telkens 32 h lang in elk van de drie hoofdrichtingen. De frequentie is 25 Hz, de topwaarde van de versnelling 2,5 *g* (als *g* de versnelling door de zwaartekracht is), de amplitude 1 mm. De Amerikaanse specificatie schrijft ook een schokproef voor, en wel vijf schokken van 500 *g*, ieder met een duur van 1 milliseconde, in elk van de asrichtingen (in de symmetrieasrichting zowel vijf in de ene als vijf in de tegengestelde zin). Deze proef wordt uitgevoerd op een machine van Amerikaans ontwerp (*fig. 11*).

Van de buizen wordt aangenomen dat ze deze proeven hebben doorstaan indien ze nog kunnen werken en de karakteristieken nog aan bepaalde eisen voldoen. Daar deze buizen worden beschouwd als ongeschikt voor aflevering, kan men de trillings- en schokproeven alleen steekproefsgewijs nemen. Om deze reden zijn in de Amerikaanse militaire specificaties steekproefschema's vastgelegd [13]). Deze zijn gebaseerd op een „grenskwaliteit voor de producent" („acceptable quality level") die overeenkomt met een uitval van 6,5% bij de trillingsproef en van 20% bij de schokproef. Uit deze getallen volgt dat buizen die aan deze specificatie voldoen, in de praktijk niet aan even sterke trillingen of schokken als bij de steekproeven mogen worden blootgesteld, daar dan het uitvalcijfer zeer groot zou zijn.

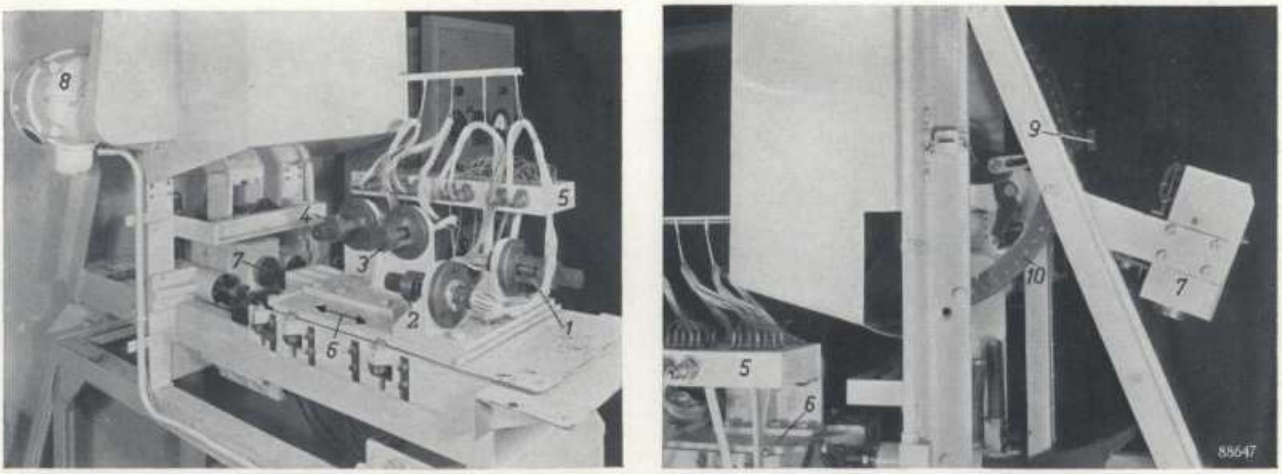
Kwaliteitscontrole

In de fabricage van „Special Quality" buizen is de kwaliteitscontrole van het grootste belang. Enige voorbeelden zijn in het voorgaande al genoemd, zoals controle op de montage en op spanningen in het glas. Hieraan is echter reeds een kwaliteitscontrole van de onderdelen voorafgegaan, waarbij steekproefsgewijs de belangrijkste eigenschappen van deze onderdelen zijn bepaald. Na het pompen en uitbranden worden de buizen onderzocht op kortsluitingen, onderbrekingen, „kraken", enz., en gemeten op een aantal elektrische eigenschappen.

[13]) Voor steekproeven en steekproefschema's in het algemeen, zie Philips techn. T. **11**, 187-194, 264-274 en 369-378, 1949.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



88646

Fig. 11. Schokmachine, van twee zijden gezien, voor het beproeven van buizen volgens de Amerikaanse militaire eisen betreffende schokvastheid. *1*, *2*, *3* en *4* zijn in verschillende richtingen gemonteerde buishouders, verbonden met de voedingsapparatuur *5*, en star bevestigd op een slede *6*, die in de pijlrichtingen heen en weer kan glijden. Een hamer *7*, opgetild door een motor *8*, valt tegen de slede vanaf een hoogte die met een stelschroef *9* langs een schaal *10* instelbaar is. Telkens na vijf schokken worden de buizen van plaats verwisseld, tot zij de vier posities *1* . . . *4* hebben doorlopen. Na afloop wordt onderzocht hoe zij de proef hebben doorstaan.

Vervolgens worden zij vijf minuten lang aan trilling blootgesteld, om na te gaan of er bij zijn met losse deeltjes in de ballon. Het gedrag tijdens het 48 h lang laten werken, waarbij de karakteristieke eigenschappen gestabiliseerd worden, geeft een belangrijke aanwijzing omtrent de betrouwbaarheid. Na deze periode, welke dus een kort durende levensduurproef voor alle geproduceerde buizen is, worden o.a. de emissie, de steilheid, de anodestroom en de isolatie gecontroleerd, en opnieuw een onderzoek op kraken gedaan. Iedere weekproduktie wordt afzonderlijk opgeslagen. Hieruit neemt men een aantal buizen die voor steekproeven zijn bestemd. Aan een deel hiervan meet men capaciteiten, roosteremissie, ruis, microfonie, enz.; een ander deel wordt onderworpen aan een levensduurproef van 500 h. Buistypen waaraan hoge mechanische eisen worden gesteld ondergaan steekproefsgewijs de boven beschreven trillings- en schokproeven.

De uitslag van al deze steekproeven bepaalt of de desbetreffende weekproduktie mag worden afgeleverd. Vóór de aflevering worden de buizen nogmaals op de voornaamste eigenschappen onderzocht, om na te gaan of het bewaren ook schadelijke invloed heeft gehad.

Slotwoord

Wij hebben getracht, in dit artikel een denkbeeld te geven van de vraagstukken waarvoor men zich in de fabricage van professionele buizen ziet geplaatst, en de toestelontwerper enige aanwijzingen te geven voor een zo goed mogelijk gebruik van deze buizen. Zoals gezegd, betekent een uitvalcijfer van 0,5% per 1000 h en een praktische levensduur van 10 000 h geenszins dat het werk aan het opvoeren van de betrouwbaarheid tot een eind is gekomen. Voordat het uitvalcijfer is gereduceerd tot 0,1% per 1000 h, zal ongetwijfeld nog veel werk moeten worden gedaan. De buizengebruiker van zijn kant zal tot het bereiken van dit doel kunnen bijdragen; dikwijls immers beschikt hij over een grote praktijkervaring, die bij nauwe samenwerking met de buizenfabrikant de kwaliteitsverbetering van de buizen ten goede kan komen.

Samenvatting. Het sterk toegenomen gebruik van versterkbuizen voor professionele doeleinden heeft de betrouwbaarheid en de levensduur van deze onderdelen in het centrum van de belangstelling der gebruikers en fabrikanten geplaatst. De schrijvers definiëren „betrouwbaarheid" als het reciproke van het uitvalcijfer, d.i. het percentage van het aantal in werking zijnde buizen dat uitvalt per 1000 h. Als eind van de „praktische levensduur" beschouwen zij het tijdstip waarop het uitvalcijfer begint toe te nemen. Een praktische levensduur van 10 000 h en een uitvalcijfer van 0,5% per 1000 h zijn met de tegenwoordige „Special Quality" buizen al bereikt; men hoopt dit laatste nog te kunnen verminderen tot 0,1% per 1000 h.

Buizen vallen uit zowel door geleidelijk als door plotseling optredende fouten. Beide categorieën worden onderverdeeld in een aantal soorten, en besproken worden verschillende maatregelen die men de laatste jaren heeft genomen ter vermindering van de uitval. De schrijvers behandelen verder de spreiding van de karakteristieken, het onderzoek van trillings- en schokvastheid, en de kwaliteitscontrole. In een slotwoord leggen zij de nadruk op de wenselijkheid van nauwe samenwerking tussen buizengebruiker en buizenfabrikant.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

EEN RADIOTOESTEL MET TRANSISTORS, GEVOED UIT EEN THERMOZUIL

621.396.62:621.375.4:621.362

Het is al een oud vraagstuk, een radiotoestel te ontwerpen dat muziek met kamersterkte kan weergeven zonder dat het voeding uit een elektriciteitsnet of uit batterijen nodig heeft. Immers, in de technisch sterk ontwikkelde delen van Europa en Amerika treft men toch nog talrijke eenzame landhuizen aan die niet over een elektriciteitsaansluiting beschikken, en in de technisch minder ontwikkelde gebieden der aarde is het eerder regel dan uitzondering dat een woning niet op een net is aangesloten. Voeding met droge batterijen is over het algemeen kostbaar en bovendien hebben deze batterijen het nadeel dat ze, vooral in tropische gebieden, beperkt houdbaar zijn. Slechts zeer weinigen kunnen zich de luxe van particuliere elektriciteitsopwekking met een motor-generator veroorloven.

Geen wonder dat men vaak heeft gedacht aan een thermozuil als voedingsbron. De thermozuil berust op het verschijnsel der thermo-elektriciteit (effect van Seebeck) en bestaat uit een reeks van aaneengelaste draden of staven van afwisselend de geleidende materialen A en B. Alle laspunten A-B worden op een temperatuur T_1 gehouden, en alle laspunten B-A op een temperatuur T_2. De ontwikkelde e.m.k. is in eerste benadering evenredig met het temperatuurverschil $T_1 - T_2$. De e.m.k. per °C temperatuurverschil en per las wordt wel thermokracht genoemd; deze grootheid hangt af van de materialen A en B. Er zijn geen eenvoudige regels te geven waarmee men snel de thermokracht kan berekenen. In het algemeen kan men wel zeggen dat voor combinaties van zuivere metalen een thermokracht van enkele μV/°C wordt gevonden, voor bepaalde legeringen tot enkele tientallen μV/°C, en voor sommige halfgeleiders tot enkele honderden μV/°C.

Men heeft in het verleden hoofdzakelijk belangstelling gehad voor het energetische rendement van de thermozuil en daarnaar zijn bruikbaarheid willen beoordelen. Het rendement — zelfs in het gunstigste geval niet hoger dan ca. 7 % — is echter soms voor de praktische bruikbaarheid van een thermozuil van ondergeschikt belang, zoals in het onderhavige geval.

Vroeger is in het Philipslaboratorium te Eindhoven reeds geëxperimenteerd met eenvoudig geconstrueerde thermozuilen, bestaande uit betrekkelijk weinig thermokoppels van gemakkelijk lasbare en niet-corrosieve legeringen (b.v. „Chromel"-„Alumel") in serie. Deze zuilen leverden bij verwarming met een gasvlam een e.m.k. van ongeveer 2 V, terwijl de inwendige weerstand ca. 2 ohm was. Hiermee konden de gloeidraden van de subminiatuurbuizen waarmee een radiotoestel was uitgerust, worden gevoed; de anodespanning werd verkregen door met behulp van een triller de spanning van 2 V om te zetten in een spanning van ca. 100 V. Aldus kon bij een verbruik van 1 W elektrisch vermogen een geluidssterkte worden verkregen die voor de huiskamer ruim voldoende was.

Thans is de situatie aanzienlijk gunstiger geworden door de komst van de transistor. Deze heeft geen gloeidraad en vraagt een voedingsspanning van slechts een paar volt, zodat de triller komt te vervallen. Het nodige aantal thermokoppels in de zuil is dus betrekkelijk klein. Men zal gaarne zien dat de zuil eenvoudig geconstrueerd is en niet gemakkelijk in het ongerede raakt, en bovendien dat een eventuele breuk gemakkelijk kan worden verholpen, b.v. bij de dorpssmid. Het is om deze redenen dus wel zeer aantrekkelijk een zuil samen te stellen uit slechts een paar honderd stukjes draad van niet te geringe doorsnede.

Bij deze overwegingen hebben wij ons het vraagstuk als volgt gesteld: Is het mogelijk een bevredigende combinatie te maken van een goedkope warmtebron, een thermozuil, en een radiotoestel met transistors en luidspreker?

Laboratoriumproeven, waarover hieronder iets wordt meegedeeld, hebben aangetoond dat zulk een combinatie is te vinden.

De warmtebron waarmee wij in het bijzonder hebben geëxperimenteerd, is de petroleumlamp, d.w.z. wij hebben getracht een deel van de warmte die een petroleumlamp als een tot dusverre waardeloos bijprodukt opwekte, met behulp van een thermozuil nuttig te gebruiken. De proeven zijn gedaan met een lamp die voorzien is van een gloeikousje van Auer von Welsbach — het welbekende kousje dat destijds de gasverlichting tot een groot succes heeft gemaakt. Deze lamp geeft een aangenaam wit licht met een sterkte van ca. 125 kaars en verbruikt ongeveer 70 ml petroleum per uur; dit betekent, dat, naar Nederlandse prijzen gerekend, het licht per lumen ongeveer evenveel kost als dat van een elektrische gloeilamp. Door een geschikte vormgeving van het lampeglas is de trek zo geregeld dat de vergaste petroleum zeer rustig onder het kousje brandt. Er is geen roetafscheiding.

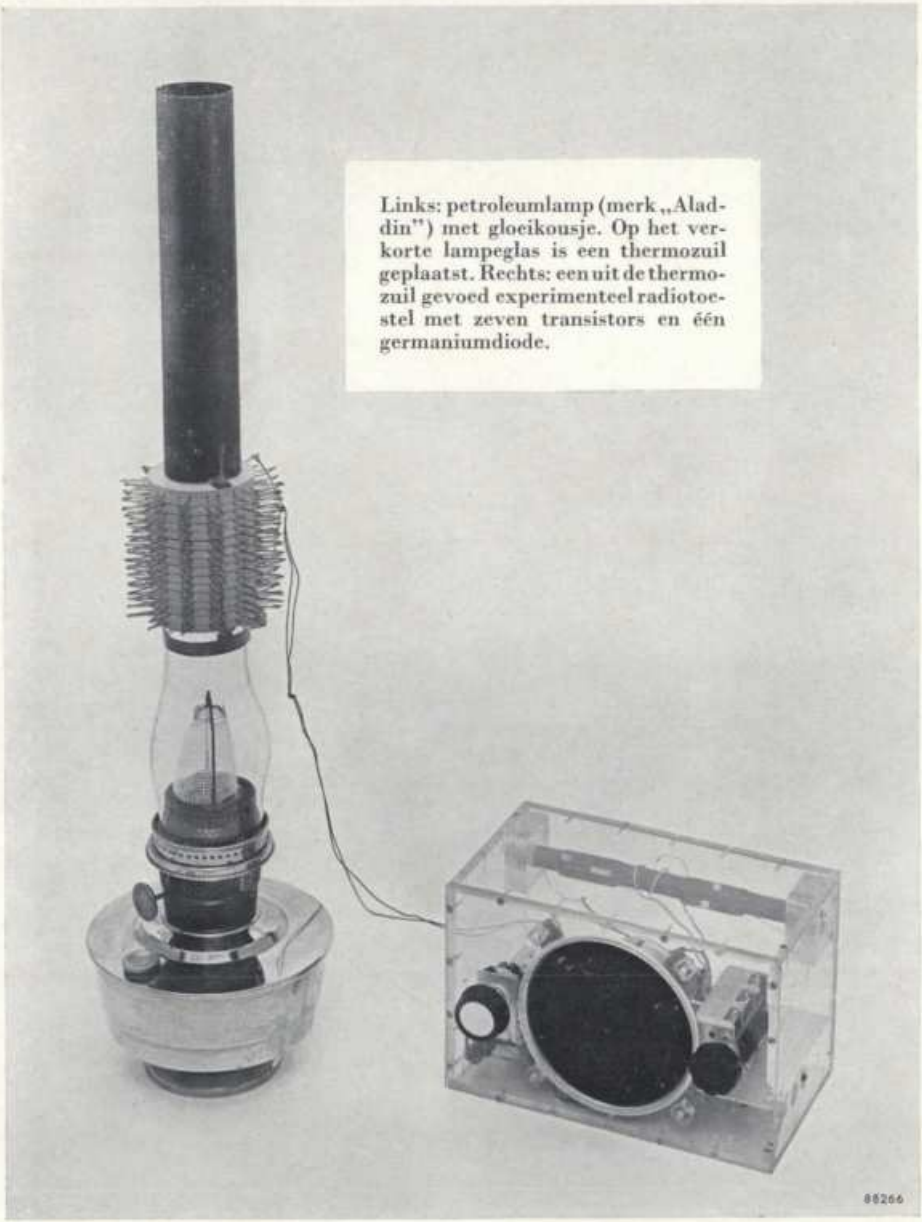
Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De thermozuil moet zo goed mogelijk bij de lamp zijn aangepast, maar mag de trek niet verstoren. Een thans door ons gebruikte thermozuil bestaat uit 16 op elkaar gestapelde en bovenop het (verkorte) lampeglas geplaatste kransen (zie de *figuur*); elke krans wordt gevormd door 12 thermokoppels. Al deze thermokoppels, dus nog geen 200 in totaal, zijn in serie geschakeld; de contactplaatsen zijn gepuntlast. Zij bestaan uit „Chromel"-constantaan, een combinatie waarvan de thermokracht ca. 65 μV per °C temperatuurverschil is. De draaddikte is 1,2 mm, de inwendige weerstand R_i van de gehele zuil is 5 ohm. De helft van het aantal lasplaatsen is naar binnen gericht en bevindt zich in de hete gasstroom die uit het lampeglas opstijgt; de andere helft steekt naar buiten en wordt door de lucht gekoeld. Bij normale vlam bedraagt in ons model het gemiddelde temperatuurverschil tussen de hete en de koude lasplaatsen 180 °C en wordt er dus een e.m.k. E van ca. 2,2 V opgewekt. Het vermogen P dat in een uitwendige weerstand R wordt geleverd, bedraagt

$$P = \frac{R}{R + R_i} \times \frac{E^2}{R + R_i}$$

en is het grootst indien $R = R_i$. Met $E = 2{,}2$ V en $R = R_i = 5$ ohm vinden we : $P = 242$ mW. Dit betekent dat bij maximaal afgegeven vermogen de klemspanning 1,1 V is en de stroom 220 mA. Deze klemspanning is voor transistors die een luidspreker moeten voeden, wel wat laag. Het genoemde vermogen echter is overbodig groot; het blijkt dat we met 100 mW rijkelijk toekomen. Daarbij is de klemspanning 1,9 V, wat een geschikte waarde is.



Links: petroleumlamp (merk „Aladdin") met gloeikousje. Op het verkorte lampeglas is een thermozuil geplaatst. Rechts: een uit de thermozuil gevoed experimenteel radiotoestel met zeven transistors en één germaniumdiode.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Terwille van de eenvoud is bij het ontwerp van een bijpassend radiotoestel de keus gevallen op een zg. rechtuit-ontvanger („straight set"), bestaande uit één trap hoogfrequentieversterking met een transistor OC 75, een detector met een germaniumdiode OA 75 van het puntcontacttype [1]) en vijf trappen laagfrequentieversterking [2]). Vier van deze trappen zijn elk voorzien van een transistor OC 71; de eindtrap werkt met twee transistors OC 72 in balansschakeling. Gezien het experimentele karakter van het toestel, is het uitgevoerd zonder automatische sterkteregeling en is er eveneens van afgezien, het geschikt te maken voor grote variaties van de omgevingstemperatuur.

Van het vermogen van 100 mW, dat wij de thermozuil willen laten leveren, komt uiteraard slechts een gedeelte als laagfrequentievermogen aan de luidspreker beschikbaar. Deze fractie is echter groter dan men wellicht zou denken, namelijk ca. 50%. Een laagfrequentievermogen van 50 mW, toegevoerd aan een gevoelige luidspreker (rendement ongeveer 8%) produceert voldoende geluid voor een kamer.

Om bij een bepaald laagfrequentie-uitgangsvermogen het opgenomen gelijkstroomvermogen zo klein mogelijk te houden, moet men als eindtrap een balansschakeling gebruiken met instelling volgens klasse B (d.w.z. transistors juist afgeknepen bij afwezigheid van signaal). Er zou dan echter bij zwakke signalen een aanmerkelijke vervorming zijn. Om deze te beperken, is een instelling tussen klasse B en klasse A in gekozen (transistors bij afwezigheid van signaal niet geheel afgeknepen).

Leggen we tussen de bases (ingangselektrodes) van de eindtrap een uit een toongenerator betrokken wisselspanning aan, van zodanige grootte dat de transistors worden uitgestuurd, dan nemen de collectors (uitgangselektrodes) van deze trap samen een gemiddelde stroom van ca. 50 mA op. De rest van het toestel verbruikt ca. 10 mA, zodat de totale stroom ca. 60 mA wordt en de klemspanning 1,9 V. Dit geldt ook bij de normale werking van het toestel wanneer de modulatiediepte van het radiosignaal 100% is. Meestentijds echter is het signaal veel minder diep gemoduleerd, wat oorzaak ervan is dat de opgenomen stroom kleiner is; gemiddeld is deze slechts 40 mA.

De vrij hoge inwendige weerstand van de zuil zou, als men er niets tegen deed, een parasitaire terugkoppeling doen ontstaan, doordat deze weerstand aan alle trappen gemeenschappelijk zou zijn. Dit zou het toestel kunnen doen oscilleren (frequentie enkele Hz). Om dit verschijnsel tegen te gaan, hebben wij twee maatregelen genomen:

1) de parasitaire koppeling tussen de verschillende trappen via de gemeenschappelijke voedingsbron is verminderd, o.a. door de thermozuil te overbruggen met een grote capaciteit;
2) de versterking voor zeer lage frequenties is klein gemaakt, door in één trap een koppelcondensator van kleine capaciteit te gebruiken.

Er wordt gebruik gemaakt van een inductieve antenne van het type „Ferroceptor" [3]), d.i. een spoel die op een staaf ferroxcube is gewikkeld en dienst doet als raamantenne. In ons geval is de staaf 200 mm lang en 15 mm dik, de spoel heeft een zelfinductie $L = 185$ μH (een waarde geschikt voor middengolven), de effectieve hoogte [4]) $h = 12$ mm en in onbelaste toestand is de kwaliteitsfactor $Q = 160$. De ontvanger geeft het maximale uitgangsvermogen bij een radiosignaal met veldsterkte $F = 1$ mV/m bij een modulatiediepte van 30%.

Is R_a de weerstand waarop de antenne is aangepast, dan levert de antenne in deze weerstand een vermogen $P_a = (QFh)^2/4R_a$. Voor R_a kunnen we schrijven: $R_a = 2\pi f LQ$, als f de frequentie van het radiosignaal is. Met $f = 10^6$ Hz vinden we: $P_a = 5 \times 10^{-12}$ W. Om een uitgangsvermogen van 50 mW te krijgen, moeten wij dus zorgen voor een totale versterking van $50 \times 10^{-3}/5 \times 10^{-12} = 10^{10}$ maal, d.i. 100 dB. Daar gerekend wordt met een modulatiediepte van 30% en het rendement van de detectortrap aanzienlijk kleiner dan 100% is, dient in werkelijkheid de totale versterking ongeveer 125 dB te bedragen. Deze versterking is in het beschreven toestel gerealiseerd.

De weergave van een radiotoestel beoordeelt men in de regel naar de bandbreedte tussen die audiofrequenties waarbij de versterking een factor 1,6 is afgenomen. Deze bandbreedte bedraagt hier 4,25 kHz. De verzwakking bij een verstemming van 9 kHz (d.i. de frequentieafstand tussen omroepzenders in het middengolfgebied) bedraagt een factor 8. Deze waarde is vrij laag in vergelijking met die van normale radiotoestellen, maar zou alleen door gebruik van ingewikkelder schakelingen opgevoerd kunnen worden; ze is echter in het algemeen voldoende voor ongestoorde ontvangst van niet ver verwijderde sterke zenders, waaraan wij bij onze proeven in de eerste plaats hebben gedacht.

J. van HENGEL en J. VOLGER.

[1]) Philips techn. T. **16**, 242-249, 1954.

[2]) Als de voedingsspanning niet ca. 2 V was, maar 6 V, zou men de collectorweerstanden hoger kunnen maken en daardoor zoveel in versterking per trap winnen dat men één trap zou kunnen missen.

[3]) H. Blok en J. J. Rietveld, Philips techn. T. **16**, 155-156 en 160-162, 1954.

[4]) Zie het in [3]) aangehaalde artikel, blz. 158.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

EEN LICHTSTIPAFTASTER VOOR UITZENDING PER TELEVISIE VAN 35 mm-FILM

door F. H. J. van der POEL. 621.397.611.2:778.53

Een lichtstipaftaster leent zich bij uitstek voor het weergeven per televisie van doorzichtig, vlak beeldmateriaal. Naast de eerder in dit tijdschrift beschreven lichtstipaftaster voor stilstaande beelden, is een dergelijke aftaster ontwikkeld voor het uitzenden van 35 mm-films. Onderstaand artikel behandelt de problemen die zich voordoen doordat thans snel op elkaar volgende beeldjes moeten worden afgetast.

Inleiding

De uitzending van films is een onderdeel geworden van ieder televisieprogramma. Aan de hiervoor te gebruiken apparatuur stelt men de eis dat deze van normale, voor bioscoopprojectie vervaardigde films een voor televisie geschikt elektrisch signaal afleidt. Dergelijke films zijn opgenomen met 24 beelden per sec; de Europese televisienormen verlangen echter 25 beelden per sec. Aangezien het niet mogelijk is met eenvoudige middelen 25 televisiebeelden per sec te verkrijgen uit 24 filmbeelden per sec, ligt het voor de hand voor dit doel de filmsnelheid aan te passen en deze ook op 25 beelden per sec te brengen. Noch op het beeld, noch op het geluid heeft deze vergrote filmsnelheid een storende invloed. Wat dit probleem betreft, verkeert men in Europa in gunstiger omstandigheden dan in de Verenigde Staten (en andere landen), waar de normale netfrequentie 60 Hz bedraagt en het aantal televisiebeelden per sec daarom is vastgesteld op 30; zo hoog kan men de filmsnelheid niet ongestraft opvoeren: de bewegingen worden te snel, muziek en spraak te hoog. Daar is derhalve een gecompliceerder oplossing noodzakelijk.

Aan ieder televisiebeeld ligt een raster ten grondslag van een zeker aantal horizontale lijnen. Volgens de zg. Gerber-norm, welke o.a. in Nederland geldt, dient dit aantal 625 te bedragen [1]). Bovendien moet dit raster geïnterlinieerd worden geschreven, d.w.z. eerst de lijnen 1, 3, 5,... (oneven raster) en daarna de lijnen 2, 4, 6, ... (even raster). In *fig. 1a* is de verticale uitwijking van het rasterschrijvende punt uitgezet als functie van de tijd. Iedere volledige beeldperiode T van 40 msec ($^1/_{25}$ sec) is onderverdeeld in vier tijdsintervallen: de rasterterugslagtijden T_{b1} en T_{b2} duren beide 1,5 msec, voor elk der twee eigenlijke aftastperiodes T_{s1} en T_{s2} blijft dus 18,5 msec beschikbaar. Strikt genomen is daardoor het aantal lijnen per even of oneven raster niet precies 625/2, maar minder, nl. $(18{,}5/40)\times 625$.

[1]) Zie b.v. W. Werner, De verschillende televisienormen, beschouwd uit het oogpunt van de ontvangtoestellenconstructeur, Philips techn. T. **16**, 196-202, 1954.

Voor filmuitzending wordt veelal gebruik gemaakt van een lichtstipaftaster. Vooral de voorgeschreven interliniëring leidt dan tot een aantal problemen. Wij willen in het volgende ingaan op de wijze waarop deze problemen zijn opgelost bij een in het Natuurkundig Laboratorium ontwikkelde lichtstipaftaster voor 35 mm-film. Ter oriëntering in de materie geven wij eerst een summiere beschrijving van een systeem van filmuitzending waarbij een normale televisiecamera wordt toegepast.

Uitzending met behulp van een televisie-opneembuis

Een bekende methode voor het uitzenden van films is die waarbij een gewone televisie-opneembuis (iconoscoop, beeldiconoscoop) wordt gebruikt in combinatie met een gangbare, slechts op ondergeschikte punten enigszins gewijzigde bioscoopprojector. De film wordt op de normale wijze, echter met 25 beelden per sec, intermitterend door de

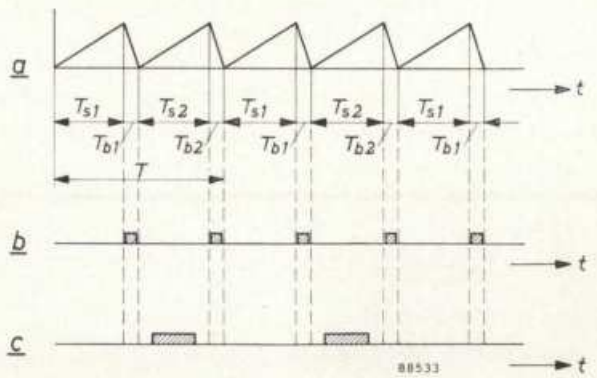


Fig. 1. *a*) Verticale uitwijking, als functie van de tijd t, van een lichtstip die een televisieraster schrijft. T = beeldperiode (40 msec). Gedurende de tijdsintervallen T_{s1} en T_{s2} (elk 18,5 msec) wordt resp. het „oneven" en het „even" raster geschreven. Gedurende de intervallen T_{b1} en T_{b2} (elk 1,5 msec) wordt de lichtstip van het eindpunt van een raster naar het beginpunt van het volgende gevoerd. Gedurende deze „rasterterugslagtijden" is de lichtstip onderdrukt.
b) Tijden gedurende welke, bij filmuitzending per televisie via een normale televisiecamera, het filmbeeldje in deze camera wordt geprojecteerd. Deze tijden vallen binnen de intervallen T_{b1} en T_{b2}.
c) Doortrektijden voor de film. Deze tijden vallen binnen de intervallen T_{s2}.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

projector getrokken. Elk filmbeeldje wordt op de lichtgevoelige laag van de opneembuis geprojecteerd in de korte rasterterugslagtijden T_{b_1} en T_{b_2} (fig. 1*b*). Het ladingsbeeld dat dan in de opneembuis ontstaat, wordt op de gebruikelijke wijze met een elektronenbundel afgetast [2]). Tijdens deze aftasting is de projecterende lichtbundel door een vlinder onderschept. Men maakt aldus gebruik van het „geheugen" van de opneembuis, waarin het ladingsbeeld enige tijd blijft bestaan nadat de belichting is geëindigd.

Tegenover het voordeel dat men een normale televisiecamera, die voor studiodoeleinden is bestemd, kan combineren met een gangbare bioscoopprojector, staat het nadeel dat de camera's gewoonlijk opneembuizen bevatten waarin zg. „onechte signalen" optreden. Deze buizen leveren nl. reeds een signaal als zij niet belicht worden en dit wordt bij belichting gesuperponeerd op het gewenste signaal [3]). Het is bekend dat deze onechte signalen niet hinderlijk zijn wanneer men voldoende licht beschikbaar heeft. Bij filmweergave heeft men dit echter geenszins in de hand.

Door de recente ontwikkeling van opneembuizen van het vidicontype, welke buizen in veel geringere mate het euvel der onechte signalen vertonen, wint in de laatste tijd de methode met een opneembuis aan betekenis [4]), vooral ook daar de benodigde apparatuur minder kostbaar is dan bij lichtstipaftasting. Op het ogenblik echter zijn, althans in Europa, algemeen lichtstipaftasters in gebruik, en hiermee worden zeer goede televisiebeelden verkregen.

Principe van de lichtstipaftaster

Het is bekend dat met een lichtstipaftaster een televisiesignaal van zeer goede kwaliteit kan worden verkregen, uitgaande van vlak, doorzichtig beeldmateriaal [5]). Het principe zij hier kort gememoreerd.

Als lichtbron dient een lichtvlekje van constante lichtsterkte, gevormd op het scherm van een speciale katodestraalbuis (de aftastbuis), welk lichtvlekje met een objectief wordt afgebeeld op het doorzichtige beeldmateriaal. (In het volgende zullen we consequent het lichtvlekje op de aftastbuis als „licht*bron*", de afbeelding hiervan op het beeldmateriaal als „licht*stip*" aanduiden.) De licht*bron* laat men op de aftastbuis een raster beschrijven overeenkomstig de voor de televisie vastgestelde norm; de licht*stip* beschrijft dan een overeenkomstig raster op het beeldmateriaal. Het doorvallende licht bundelt men met een condensorlens op een fotoelektrische cel, waarin een fotostroom wordt opgewekt die op elk ogenblik evenredig is met de doorlating van het beeldmateriaal ter plaatse van de lichtstip. Stuurt men deze stroom door een weerstand, dan ontstaat hierover een spanning die — na versterking — het beeldsignaal levert.

De filmbeweging

Een principieel verschil tussen de methode van filmuitzending met een lichtstipaftaster en die met een televisie-opneembuis is, dat bij de eerstgenoemde methode het filmbeeld zelf wordt afgetast en bij de laatstgenoemde het in de opneembuis gevormde ladingsbeeld. Bij gebruik van een lichtstipaftaster moet derhalve gedurende de beide aftastperiodes T_{s_1} en T_{s_2} het filmbeeld voor de aftasting beschikbaar zijn, benutting van het interval T_{s_2} voor het doortrekken van de film, zoals dat bij toepassing van een opneembuis wordt gedaan (fig. 1*c*) is onmogelijk. Men kan zich een proces voorstellen waarbij de film wordt doorgetrokken in de terugslagtijd T_{b_2}, terwijl zij in rust is gedurende de rest van de beeldperiode. Het doortrekken moet dan echter in 1,5 msec geschieden, wat op grote mechanische moeilijkheden stuit. (Bij bioscoopprojectie is voor het doortrekken ca. 10 msec nodig.) Tot nu toe is het niet gelukt een dergelijke projector uit te voeren voor 35 mm-film, en zelfs voor 16 mm-film, waar de optredende versnellingen zoveel kleiner zijn, is het probleem nog niet definitief opgelost.

Het is echter geen vereiste dat de film stilstaat gedurende het aftasten. Nodig is alleen dat de lichtstip en de film ten opzichte van elkaar een voorgeschreven beweging uitvoeren, die men evengoed gedeeltelijk door de film en gedeeltelijk door de lichtstip kan laten verzorgen. In de ontwikkelde lichtstipaftaster loopt de film met een eenparige snelheid die correspondeert met 25 beelden per sec. Om de gedachten te bepalen, zullen we aannemen dat deze filmsnelheid v verticaal naar beneden is gericht. De

---

[2]) Zie b.v. P. Schagen, H. Bruining en J. C. Francken, De beeldiconoscoop, een opneembuis voor televisie, Philips techn. T. **13**, 71-85, 1951; en J. C. Francken en H. Bruining, Nieuwe ontwikkelingen aan de beeldiconoscoop, Philips techn. T. **14**, 282-290, 1952.

[3]) Zie het in [2]) aangehaalde artikel van Schagen, Bruining en Francken, pag. 75.

[4]) H. N. Kozanowski, Vidicon film-reproduction camera's, J.S.M.P.T.E. **62**, 153-162, 1954; R. G. Neuhauser, Vidicon for film pick-up, J.S.M.P.T.E. **62**, 142-152, 1954; W. L. Hurford en J. Marian, Monochrome vidicon film camera, R.C.A. Review **15**, 372-388, 1954; ook L. Heyne, P. Schagen en H. Bruining, Een experimentele opneembuis voor televisie, met toepassing van fotogeleiding, Philips techn. T. **16**, 43-45, 1954.

[5]) Zie voor de beschrijving van een te Eindhoven ontwikkelde lichtstipaftaster: F. J. H. van der Poel en J. J. P. Valeton, De lichtstipaftaster, Philips techn. T. **15**, 217-228, 1953, en A. Bril, J. de Gier en H. A. Klasens, Een katodestraalbuis voor lichtstipaftasting, Philips techn. T. **15**, 229-233, 1953.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

lichtstip laten wij zo bewegen dat zij gedurende iedere aftastperiode een verticaal omhoog gerichte snelheidscomponent w heeft. Film en lichtstip hebben dan ten opzichte van elkaar een verticale snelheid $v + w$. In een aftasttijd T_s ($= T_{s1} = T_{s2}$) heeft de lichtstip zich dan ten opzichte van de film over de afstand $(v + w)\ T_s$ verplaatst. We kiezen w zo groot dat

$$(v + w)\ T_s = h, \quad . \ . \ . \ . \ . \quad (1)$$

waarin h de hoogte van het weer te geven gedeelte van een filmbeeld voorstelt. De film is zo ingelegd dat bij het begin van een aftasttijd T_{s1} (fig. 1*a*) de lichtstip zich bevindt aan de onderkant van het

Daar de film een gedeelte van de verticale beweging van de lichtstip heeft overgenomen, behoeft de laatste niet de gehele hoogte h af te leggen, en de hoogte h' van het raster in het filmvlak zal dan ook kleiner moeten zijn dan h. (Het filmvlak, d.i. het vlak waarin de film gedurende de aftasting beweegt, dient men goed te onderscheiden van de film zelf: in tegenstelling met de film, staat het filmvlak namelijk stil.) Men kan h' gemakkelijk berekenen. Daar v, T_s en h bekend zijn, volgt w uit (1) en vervolgens h' uit

$$h' = wT_s. \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (2)$$

Aangezien $h' < h$, zal de verhouding van hoogte en breedte van het door de lichtstip geschreven

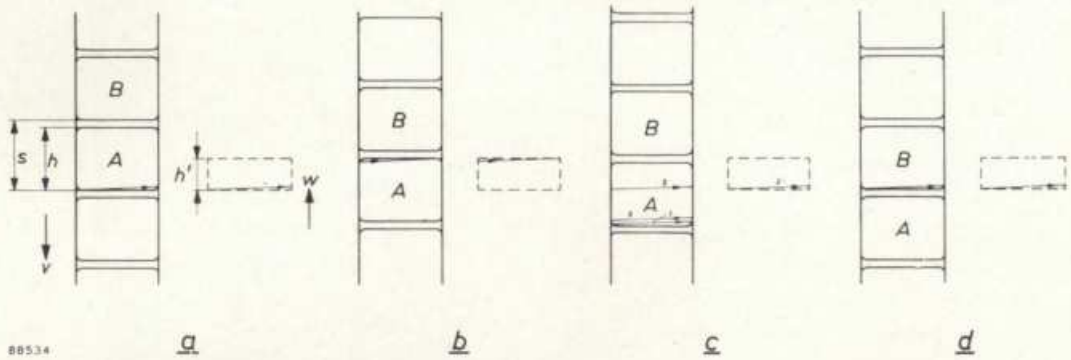


Fig. 2. *a* en *b*) De situaties bij het begin, resp. het einde van een aftasting van het filmbeeldje A volgens het oneven raster. Voor de duidelijkheid is de omtrek van het raster niet op maar naast de film getekend. v = snelheid van de film; w = verticale snelheid van de aftastende lichtstip; s = beeldsteek, h = hoogte van het af te tasten gedeelte van het filmbeeldje; h' = hoogte van het raster in het vlak van de film.
c) De aftastende lichtstip uit *a* en *b* valt bij het begin van de aftasting volgens het even raster (lijn 2) op de verkeerde plaats op de film (nl. niet tussen lijn 1 en 3) en dient derhalve te worden onderschept.
d) Na een volledige beeldperiode is de situatie (*a*) hersteld, alleen is nu de film één beeldje opgeschoven.

weer te geven gedeelte van een filmbeeld; dan wordt in de tijd T_{s1} dit gedeelte volgens het oneven raster afgetast (*fig. 2a* en *b*). Na de terugslagtijd T_{b1} (fig. 1*a*) begint de lichtstip aan het even raster, waarvan de lijnen op de film op de juiste wijze tussen die van het oneven raster dienen te vallen. Dit is echter geenszins het geval (fig. 3*c*): op de film valt b.v. lijn 2 niet tussen de lijnen 1 en 3, maar komt ze een halve beeldsteek verkeerd terecht. Daarom wordt gedurende het schrijven van het even raster de betrokken lichtstip onderschept. Hoe de aftasting volgens het even raster dan wèl tot stand komt, bespreken wij in de volgende paragraaf. Wat de aftasting volgens het oneven raster aangaat, is de zaak echter in orde: begint na $^1/_{25}$ sec de lichtstip opnieuw aan het oneven raster, dan is inmiddels de film juist één beeldje opgeschoven (fig. 2*d*).

raster kleiner zijn dan de voor een normaal televisieraster voorgeschreven waarde van 3 : 4. Hetzelfde geldt natuurlijk voor het door de lichtbron op de aftastbuis geschreven raster.

Daar de beeldsteek $s = 19$ mm bedraagt, is de filmsnelheid v gelijk aan $v = 25 \times 19$ mm/sec. De genormaliseerde hoogte en breedte van het voor projectie bestemde gedeelte van een filmbeeldje bedragen resp. 15,2 en 21 mm, zodat hun verhouding 3 : 4,14 is. Voor het televisiebeeld is deze verhouding 3 : 4. Wil men vermijden dat een gedeelte van het niet voor projectie bestemde gedeelte van de film op het televisiescherm zichtbaar wordt, dan kan men dus wel de gehele hoogte, maar niet de gehele breedte van het filmbeeld aftasten. Voor h in (1) mogen we dus 15,2 mm invullen, en daar $T_s = 18{,}5 \times 10^{-3}$ sec, kunnen we nu w berekenen, waarna uit (2) voor de hoogte van het raster in het filmvlak volgt: $h' = 6{,}4$ mm. De breedte moet $4/3 \times 15{,}2 = 20{,}3$ mm bedragen. De verhouding van hoogte en breedte is dus niet 3 : 4, maar 1,26 : 4.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Geïnterlinieerde aftasting

Daar de film beweegt met eenparige snelheid, zal in het tijdsinterval $T_{s1} + T_{b1}$ (20 msec) dat verloopt tussen de aanvangstijdstippen van een aftasting volgens het oneven raster en van de daarop volgende aftasting volgens het even raster, de film over een halve beeldsteek zijn opgeschoven. In het filmvlak moet derhalve de omtrek van het even raster niet samenvallen met de omtrek van het oneven raster, maar hij moet verschoven zijn over een halve beeldsteek (9,5 mm) in de bewegingsrichting van de film. Op de film zelf vallen dan de lijnen van de twee rasters weer netjes tussen elkaar.

Wij hebben de gewenste verschuiving van het even raster bereikt door de lichtbron op de aftastbuis met behulp van een tweede objectief, gemonteerd onder het eerste, nogmaals in het filmvlak af te beelden, zodanig dat de afstand tussen de twee afbeeldingen precies een halve beeldsteek bedraagt (*fig. 3a*). Een roterende vlinder, direct achter de film aangebracht, onderschept gedurende de tijdsintervallen T_{s1} de lichtbundel door de onderste, en gedurende de intervallen T_{s2} de bundel door het bovenste objectief. De voorwaarden waaraan bladhoogte en bladsnelheid moeten voldoen, kan men op eenvoudige wijze overzien in *fig. 4*. Hierin zijn, als functie van de tijd, behalve de verticale uitwijkingen van de bovenste en van de onderste lichtstip, ook nog de posities uitgezet, gemeten langs de verticaal, van onder- en bovenrand van een aantal op elkaar volgende vlinderbladen. Tussen de lijnen die corresponderen met onder- en bovenrand van een blad is een arcering aangebracht waarvan de hoogte, gemeten loodrecht op de abscis, dus de bladhoogte voorstelt. Aangenomen is dat de bladen met eenparige snelheid verticaal naar boven bewegen, een onderstelling die natuurlijk slechts bij benadering juist is, daar de vlinder geen oneindig grote straal heeft. De helling van de met de bladranden corresponderende lijnen is een maat voor de verticale bladsnelheid. Bladsnelheid en bladhoogte dienen zo te worden gekozen dat gedurende alle tijdsintervallen T_{s1} de lijn voor de onderste lichtstip wel en die voor de bovenste lichtstip niet binnen een gearceerde strook valt, terwijl gedurende alle tijdsintervallen T_{s2} juist het omgekeerde het geval is. Uit de figuur is direct te zien dat er vele combinaties van bladhoogten en bladsnelheden mogelijk zijn waarbij aan de gestelde voorwaarden is voldaan. Daar het van even groot belang is dat de actieve lichtbundel geheel wordt vrijgelaten als dat de andere wordt onderschept, is het logisch de bladhoogte en de afstand tussen twee opeenvolgende bladen even groot te maken. Fig. 4 correspondeert met de situatie bij de door ons geconstrueerde lichtstipaftaster.

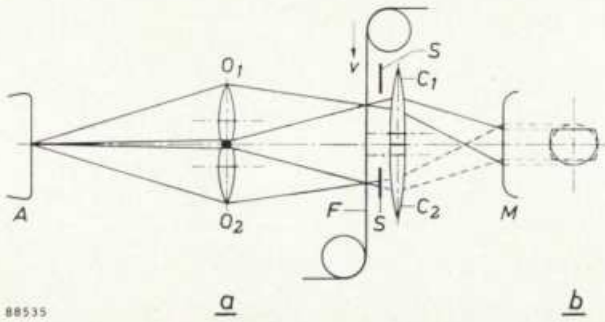


Fig. 3. *a*) Ten einde te zorgen, dat op de bewegende film de lijne van het even raster op de juiste wijze tussen die van het oneven raster vallen, worden van de lichtbron op de katodestraalbuis A, met twee onder elkaar geplaatste gelijke objectieven O_1 en O_2, twee afbeeldingen gemaakt op de film F. De twee condensorlenzen C_1 en C_2 achter de film werpen het doorvallende licht op de foto-elektrische cel M. Een tussen de film en de condensorlenzen roterende vlinder S (niet op schaal) onderschept afwisselend één der beide lichtbundels (in de figuur de onderste). C_1 en C_2 zijn zo opgesteld dat zij resp. O_1 en O_2 afbeelden op de lichtgevoelige laag van de fotocel M en zij smeren dus het licht uit over deze beelden.
b) Beelden die C_1 en C_2 op de fotocel ontwerpen van O_1 resp. O_2. De afstand van C_1 en C_2 is zo gekozen, dat de beelden zoveel mogelijk samenvallen.

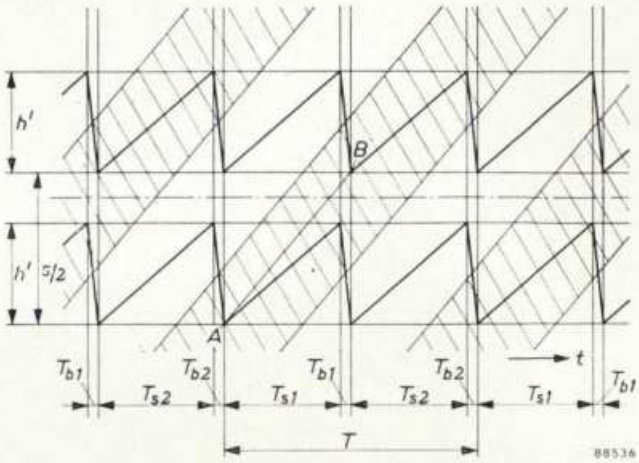


Fig. 4. Grafisch overzicht van het afwisselend vrijlaten en onderscheppen van de twee lichtstippen door de vlinderbladen. De twee zaagtandlijnen stellen de verticale uitwijkingen voor van de onderste en de bovenste lichtstip als functie van de tijd t. De begrenzingen van de gearceerde stroken geven de posities aan van onder- en bovenkanten van een aantal op elkaar volgende vlinderbladen. In de tijdsintervallen waarin een zaagtandlijn binnen een gearceerde strook valt, is de desbetreffende lichtbundel onderschept. Betekenis der letters als in fig. 1 en 2.

Complicaties treden op doordat de vlinderstraal niet oneindig groot is: dit heeft b.v. tot gevolg dat de bladsnelheid aan de binnenstraal kleiner is dan aan de buitenstraal. Er is echter een voldoende marge om hiervan geen hinder te ondervinden, evenmin als van het feit, dat op de plaats waar de lichtbundels worden onderschept, deze een grotere doorsnede hebben dan ter plaatse van de lichtstippen zelf (fig. 3*a*).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Er bestaat een relatie tussen het aantal vlinderbladen n, de straal van de vlinder (waarvoor we de straal r_m tot het midden van een blad nemen) en de snelheid v_m van dit midden. In $^1/_{25}$ sec moet nl. de vlinder precies één blad zijn opgeschoven, d.w.z. over een hoek van $2\pi/n$ rad zijn gedraaid. De hoeksnelheid van de vlinder moet dus $\omega = 25 \times 2\pi/n$ rad/sec bedragen. Daar $v_m = \omega r_m$, moet dus

$$v_m\, n/r_m = 50\ \pi\ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (3)$$

Het is niet moeilijk in fig. 4 na te gaan dat de ruimste marge optreedt als de gearceerde stroken evenwijdig lopen aan de lijn AB. In dat geval is de bladsnelheid gelijk aan de filmsnelheid (de verticale afstand tussen B en A bedraagt nl. 9,5 mm = een halve beeldsteek, terwijl de horizontale afstand een halve beeldperiode bedraagt). Deze waarde van de bladsnelheid is dan ook genomen voor v_m. Door (3) wordt dan r_m vastgelegd als n is gekozen. Men kan n niet willekeurig klein kiezen daar dan ook r_m zeer klein wordt en de snelheden aan de binnen- en de buitenkant van een blad te veel gaan afwijken van v_m. Wij hebben 24 bladen genomen, waarbij men voor r_m de waarde 73 mm vindt. De uitwendige straal is 85 mm.

afhankelijk van ouderdom, vochtigheid en temperatuur, een film steeds enigermate is gekrompen, is de beeldsteek steeds iets (maximaal ca. 1%) minder dan de nominale waarde van 19 mm. Men moet dus de afstand tussen de objectieven bij het begin van de filmuitzending bij de krimp aanpassen. De ervaring heeft geleerd dat deze krimp over de gehele lengte van de film niet merkbaar verloopt, maar dat tussen verschillende films wel degelijk een merkbaar verschil in krimp kan bestaan. Is de verticale afstand tussen de objectieven niet goed ingesteld, dan interliniëren op de film de beide rasters niet goed meer. Dit heeft weliswaar geen invloed op het interliniëren der rasters aan de ontvangzijde, dus op de weergeefbuis (waar immers de ontvangapparatuur de interliniëring verzorgt), maar de door de twee rasters gedragen gedeelten van het beeld vullen elkaar dan niet op de juiste wijze aan. Men neemt dit waar als

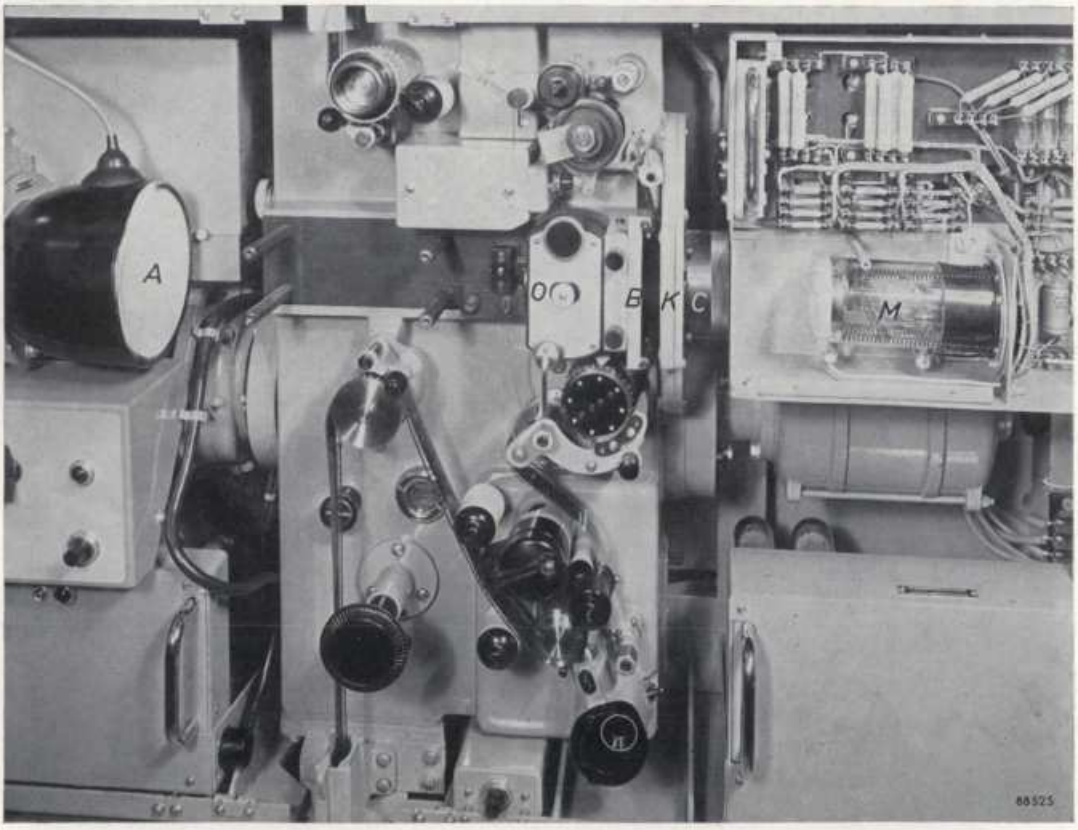


Fig. 5. Het centrale gedeelte van de filmaftaster. Behalve de loop van de film ziet men de aftastbuis A, de houder O voor het dubbele objectief, het filmvenster met de filmbaan B, het vlinderhuis K, waarin de vlinder draait, de houder C voor de condensorlenzen en de foto-elektrische cel M.

De instelling van de onderlinge afstand der twee lichtstippen in het filmvlak op een halve beeldsteek geschiedt door de verticale afstand tussen de middelpunten van de beide objectieven te regelen. Daar, een beeldverdubbeling in verticale zin. Het verdwijnen van deze verticale beeldverdubbeling dient als criterium voor de juiste instelling van de afstand tussen de twee objectieven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Als de verbindingslijn van de middelpunten der twee objectieven niet precies evenwijdig is aan de bewegingsrichting van de film, vertonen de beide afbeeldingen van de lichtbron ten opzichte van elkaar een verschuiving in de richting loodrecht op de filmbeweging. Van een verticale lijn op de film zullen, bij reproductie op de weergeefbuis, de punten van deze lijn die resp. verzorgd worden door het oneven en door het even raster, ten opzichte van elkaar in horizontale richting zijn verschoven. Door een zorgvuldige montage van de objectieven kan men het optreden van deze horizontale beeldverdubbeling voorkomen.

Fig. 5 is een foto van het centrale gedeelte van de filmaftaster.

Er zijn andere, misschien meer voor de hand liggende, methodes om de afbeeldingen van het oneven en het even raster onderling op de juiste plaats in het filmvlak te krijgen. Men zou b.v. de beide rasters op verschillende plaatsen op de aftastbuis kunnen schrijven, zodanig dat de afbeeldingen (nu met één objectief) in de juiste onderlinge positie in het filmvlak komen. Daarbij is het noodzakelijk, dat op de aftastbuis het verschoven even raster congruent is met dit raster zoals het normaal tussen de lijnen van het oneven raster zou zijn geschreven; anders vullen de beide rasters elkaar niet op de juiste wijze aan. Deze congruentie is echter vrijwel niet te bereiken. De eisen die dan gesteld zouden moeten worden aan de nauwkeurigheid van de afbuiging van de lichtbron op de aftastbuis, zijn te zwaar. Bij de methode met twee objectieven wordt de eis van nauwkeurigheid verlegd naar de gelijkheid van deze objectieven, welke men beter in de hand heeft.

De objectieven

Gelijkheid der brandpuntsafstanden

De brandpuntsafstanden der twee gebruikte objectieven mogen slechts een zeer gering verschil vertonen. Voor het gemak denken we ons elk der objectieven te bestaan uit een enkele lens. Wanneer twee lenzen met verschillende brandpuntsafstanden een gemeenschappelijk voorwerp hebben (dus een gemeenschappelijk voorwerpsvlak) en dit scherp afbeelden in een gemeenschappelijk beeldvlak, moeten deze lenzen in verschillende vlakken zijn opgesteld (*fig. 6*). Zij beelden dan het voorwerp met verschillende vergroting af (voor de vergroting m geldt immers $m = b/v$; b = beeldafstand, v = voorwerpsafstand). Het verschil in vergroting heeft o.a. tot gevolg dat op de film de lijnen van het oneven en het even raster niet dezelfde lengten hebben. Wordt dus een verticale lijn in het midden van een filmbeeld op de weergeefbuis juist weergegeven, dan zullen verticale lijnen op enige afstand van het midden de in het voorgaande besproken horizontale beeldverdubbeling vertonen. Ook kunnen nu op de film de twee rasters niet over het gehele filmbeeld correct interliniëren. Is de interliniëring in orde in het midden van het beeld, dan verloopt zij naar boven- en onderzijde. Op de weergeefbuis treedt dan aan boven- en onderzijde een verticale beeldverdubbeling op.

Daar bij een televisiebeeld de breedte groter is dan de hoogte en de beeldverdubbeling toeneemt met de afstand tot het midden (aannemende dat in het midden het beeld goed is ingesteld), is de horizontale beeldverdubbeling de ernstigste. Wij hebben als eis gesteld dat aan de verticale randen van het beeld de reprodukties van dezelfde lijn door het oneven en het even raster ten opzichte van elkaar niet meer verschoven mogen zijn dan $^1/_4$ van de lijnafstand. (De lijnafstand is de verticale afstand tussen twee naast elkaar liggende lijnen van het oneven en het even raster.) Dit betekent dat de breedten van de twee rasters op de film ten hoogste een verschil mogen vertonen gelijk aan de helft van de op de film geldende lijnafstand (nl. $^1/_4$ aan het linker- en $^1/_4$ aan het rechteruiteinde). Daar de

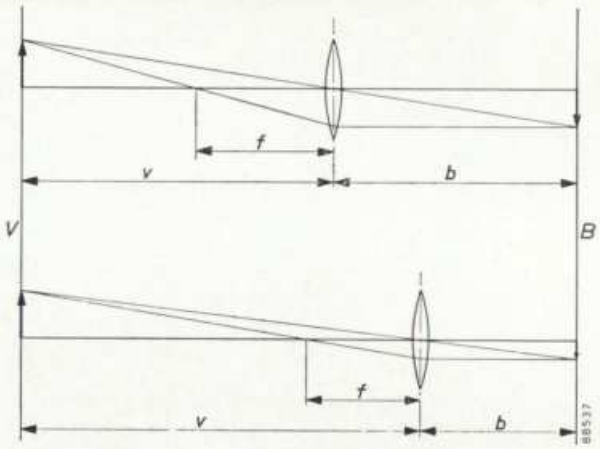


Fig. 6. Twee lenzen met verschillende brandpuntsafstanden, maar met een gemeenschappelijk voorwerpsvlak (V) en een gemeenschappelijk beeldvlak (B), moeten in verschillende vlakken worden opgesteld en leveren ook verschillende vergrotingen. v = voorwerpsafstand, b = beeldafstand, f = brandpuntsafstand.

breedte van een televisiebeeld ca. $^4/_3 \times 625 \approx 800$ lijnafstanden bedraagt, mogen dus de door de twee objectieven geleverde vergrotingen niet meer dan ca. $1/1600 \approx 0{,}6\ ^0/_{00}$ verschillen. Hiervan uitgaande, kan men op eenvoudige wijze berekenen hoeveel de brandpuntsafstanden der beide objectieflenzen van elkaar mogen afwijken. De berekening leert, dat het verschil minder moet zijn dan ca. $0{,}5^0/_{00}$.

Uit de lenzenformule: $1/b + 1/v = 1/f$, de formule voor de vergroting $m = b/v$ en de voorwaarde $b + v$ = constant = c, (zie fig. 6), volgt een verband tussen de brandpuntsafstand f en de vergroting m:

$$f = c\,\frac{m}{(1+m)^2}.$$

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Neemt men hiervan eerst de logaritme, om daarna te differentiëren, dan volgt hieruit:

$$\frac{df}{f} = \frac{1-m}{1+m}\,\frac{dm}{m} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

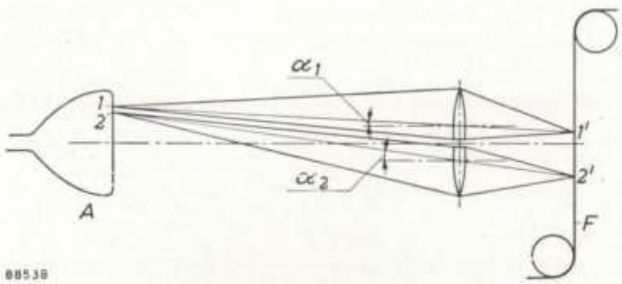
Voor de toelaatbare relatieve variatie in de vergroting vonden wij reeds $0{,}6\,^0/_{00}$, zodat $dm/m = 0{,}6\times 10^{-3}$. In ons geval is $m \approx {}^1/_5$. Door deze waarde, en tevens die voor dm/m, in te vullen in (4) vindt men voor het toelaatbare relatieve verschil tussen de brandpuntsafstanden:

$$\frac{df}{f} = 0{,}4\times 10^{-3} = 0{,}4\,^0/_{00}.$$

De gebruikte objectieven zijn samengesteld uit enige componenten. Door de toleranties in de onderlinge afstanden der componenten, is er — zelfs voor objectieven van dezelfde fabricageserie — soms nog een spreiding van enkele procenten in de brandpuntsafstanden. Door de afstanden in één van de twee gebruikte objectieven met een miniem bedrag te wijzigen bleek het mogelijk de brandpuntsafstanden met de voorgeschreven nauwkeurigheid van $0{,}5\,^0/_{00}$ aan elkaar gelijk te maken. Deze verandering van afstand maakt de correctietoestand van het objectief wel iets anders, maar niet slechter. De wijze waarop de gelijkheid werd getoetst, wat nog weer een probleem op zichzelf is, kunnen wij binnen het bestek van dit artikel niet bespreken.

Vignetteren

Men dient aan de objectieven ook nog de eis te stellen dat de verlichting in een beeldpunt slechts weinig afneemt als men het corresponderende voorwerpspunt verder van de optische as verwijdert. Om dit in te zien, beschouwen we de rasterlijnen 1 en 2 (*fig.* 7). Op de aftastbuis liggen deze lijnen vlak onder elkaar. Hun actieve afbeeldingen komen op de film echter door verschillende objectieven tot stand, nl. die van lijn 1 door het bovenste en die van lijn 2 door het onderste objectief. Daar de betrokken twee lichtbundels verschillende hoeken maken met de optische assen van de bijbehorende objectieven, ontvangen, indien bovengenoemd verschijnsel optreedt, deze afbeeldingen verschillende hoeveelheden licht. Aan de ontvangzijde worden de lijnen weer vlak onder elkaar weergegeven, zodat hier onder elkaar liggende rasterlijnen verschillende lichtsterkten zullen hebben. Dit geeft aanleiding tot flikkeren van het beeld met 25 Hz, vooral aan boven- en onderzijde, waar de verschillen het grootst zijn. In het midden van het beeld ontvangen het oneven en het even raster op de film evenveel licht.



88530

Fig. 7. Indien de objectieven zo zijn dat de verlichting in een beeldpunt merkbaar geringer is naarmate het voorwerpspunt zich verder van de optische as bevindt, zal de afbeelding 2′ op de film F van rasterlijn 2 door het onderste objectief minder licht ontvangen dan de afbeelding 1′ van rasterlijn 1 door het bovenste objectief, wegens het verschil in de hoeken die de lichtbundels maken met de optische assen der corresponderende lenzen ($\alpha_2 > \alpha_1$).

Daar het oog zeer gevoelig is voor deze lage flikkerfrequentie [6]), mag het maximaal optredende verschil tussen de door de verschillende rasterlijnen ontvangen lichthoeveelheden niet meer dan enkele procenten bedragen. Iedere lens vertoont een afneming van de verlichting in een beeldpunt als de hoek α waaronder de lichtbundel invalt, groter wordt: deze verlichting is nl. evenredig met $\cos^4 \alpha$ (de zg. $\cos^4$-wet). Het verschijnsel wordt echter veel ernstiger als de lenzen vignetteren. Onder vignetteren verstaat men het verschijnsel dat van een lichtbundel een groter gedeelte wordt onderschept (door lensbegrenzingen en diafragma's) naarmate de bundel onder een grotere hoek invalt. De door ons gebruikte objectieven zijn zo geconstrueerd dat bij de voorkomende waarden van α geen vignetteren optreedt. Het flikkeren kon zo binnen toelaatbare grenzen worden gehouden.

Verdere bijzonderheden van de objectieven

Een ander punt waaraan speciale aandacht moest worden besteed bij de keuze der objectieven, is de afwezigheid van vertekening.

Een geringe vertekening zou niet zo erg zijn, mits de beide rasters op dezelfde wijze zouden worden vertekend, zodat zij op de film toch nog goed tussen elkaar zouden vallen. Dit blijkt echter niet het geval te zijn: reeds bij een geringe vertekening lukt het niet meer de rasters overal goed te laten interliniëren.

Ten slotte moeten, zoals besproken, de door de objectieven ontworpen beelden ca. 9,5 mm uit elkaar geschoven zijn. De afstand tussen de middelpunten der lenzen moet dus minder dan 9,5 mm

[6]) J. Haantjes en F. W. de Vrijer, Het flikkeren van televisiebeelden, Philips techn. T. **13**, 7-12, 1951.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

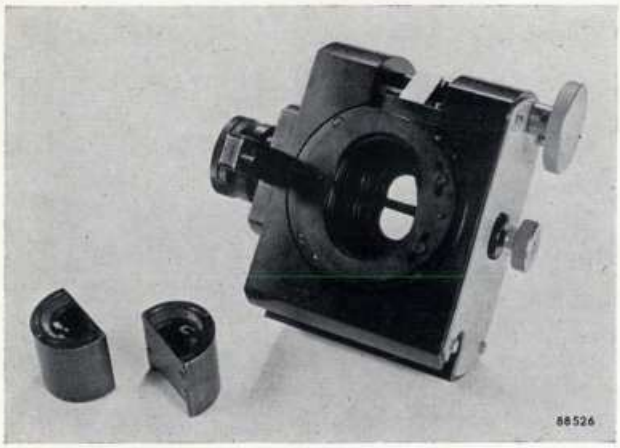


Fig. 8. De objectiefhouder met het dubbele objectief van de lichtstipaftaster voor film. Met de kleine stelschroef rechts kan men de afstand tussen de objectieven veranderen en zo de interliniëring correct instellen. Van de objectieven zijn segmenten afgezaagd, zoals nog duidelijker zichtbaar is aan de meegefotografeerde afzonderlijke objectieven.

bedragen (fig. 3*a*). Om dit bij de gebruikte objectieven mogelijk te maken, moesten hiervan segmenten worden afgezaagd, zoals in *fig. 8* is te zien [7]).

De condensorlenzen

Achter de film bevinden zich, ter plaatse van de beide rasters, twee condensorlenzen, welke zo groot zijn dat zij al het door de film tredende licht steeds opvangen en bundelen op de fotokatode van de fotocel. Deze lenzen zijn zodanig opgesteld dat elk van hen het bijbehorende objectief afbeeldt op de fotokatode (de over de film bewegende lichtstip wordt hierop dus niet scherp afgebeeld). Wij beschouwen b.v. de lichtbundel door het bovenste objectief (fig. 3*a*). Onafhankelijk van de positie van de lichtbron op de aftastbuis, passeert door ieder punt van het objectief (voorwerpspunt voor de betrokken condensorlens) een lichtstraal, welke in het corresponderende beeldpunt op de fotokatode terechtkomt. Zo wordt dus de lichtbundel voortdurend uitgesmeerd over het gehele beeld van het objectief op de fotokatode. De invloed van plaatselijke verschillen in gevoeligheid der fotokatode wordt hierdoor geëlimineerd. Bovendien kan men door een juiste keuze van de afstand der middelpunten van de condensorlenzen de beelden die elk der condensorlenzen van het corresponderende objectief ontwerpt, nagenoeg laten samenvallen (fig. 3*b*). (Dit samenvallen kan niet volmaakt zijn doordat van de objectieven segmenten zijn afgezaagd.) Daardoor is voor beide rasters de gevoeligheid van de fotocel gelijk.

Slip bij gekrompen film

De in het voorgaande besproken methode van filmaftasting was gebaseerd op de onderstelling dat de film beweegt met een eenparige snelheid van 25 beelden per sec. Bij gekrompen film zou men, om aan deze onderstelling te voldoen, de eenparige filmsnelheid bij de krimp moeten aanpassen. In werkelijkheid worden hiervoor echter geen maatregelen genomen. De film wordt aangedreven door een sprocket met vier tandparen per beeld (de film heeft aan iedere rand vier perforaties per beeld). Dit sprocket draait eenparig met een snelheid die correspondeert met 25 beelden per sec. Hierdoor is gegarandeerd dat de gemiddelde filmsnelheid 25 beelden per sec is. Weliswaar is deze filmsnelheid in het algemeen niet eenparig: indien de tandsteek gelijk is aan $^1/_4$ van de nominale beeldsteek, zal bij gekrompen film viermaal per beeld een zekere slip optreden. Dat dit geen moeilijkheden oplevert, kunnen wij inzien door nog iets nauwkeuriger in te gaan op de eisen die men moet stellen aan de onderlinge positie van de beide rasters in het filmvlak om een juiste interliniëring te verkrijgen.

In de eerste plaats dient in het filmvlak de afstand tussen de onderste begrenzingen van de twee rasters precies gelijk te zijn aan de afstand waarover de film zich voortbeweegt in een tijdsinterval $T_{s1} + T_{b1}$. Anders zouden op de film de eerste lijnen van het even raster al niet op de juiste wijze tussen die van het oneven raster vallen. Nemen wij eenvoudigheidshalve aan dat de film gedurende iedere slip even stilstaat, dan heeft de filmsnelheid als functie van de tijd het in *fig. 9* geschetste verloop. Hieruit blijkt dat in een tijdsinterval $T_{s1} + T_{b1}$ de film dezelfde afstand heeft afgelegd als wanneer hij zou bewegen met de juiste eenparige snelheid (die immers gelijk is aan de gemiddelde snelheid v_{gem} in fig. 9). De aanpassing van de afstand tussen de beide objectieven bij de filmkrimp is dus geheel hetzelfde als reeds eerder werd besproken.

In de tweede plaats dient de interliniëring — die nu goed is aan de onderzijde van de rasters — ook verder goed te blijven en niet door de optredende slip verstoord te worden. Hebben wij een film met een krimp van 1% (de maximaal voorkomende waarde), dan staat bij iedere slip de film stil gedurende $^1/_4$% van een volledige beeldperiode. In deze tijd wordt $^1/_4$% van 625 lijnen, dus $1\frac{1}{2}$ lijn geschreven. De verticale snelheid van de lichtstip ten opzichte van de film is gedurende de sliptijden te klein, zodat de $1\frac{1}{2}$ lijn, b.v. van het oneven raster,

[7]) Het justeren der lenzen in de objectieven, het uitzoeken van het meest geschikte fabrikaat en type, en het afzagen der segmenten zijn verzorgd door de optische afdeling van het Natuurkundig Laboratorium onder leiding van P. M. van Alphen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

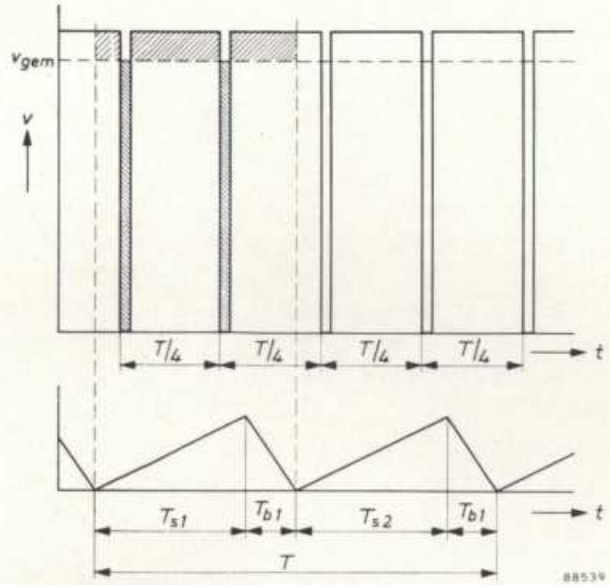


Fig. 9. Filmsnelheid v als functie van de tijd t bij gebruik van een aandrijfsprocket met vier tandparen per beeld. Vier maal per beeldperiode treedt slip op, waardoor de gemiddelde snelheid v_{gem} de voorgeschreven waarde van 25 beelden per sec behoudt, onafhankelijk van de filmkrimp. Aangenomen is dat gedurende de slip de film stilstaat. Over een tijdsinterval $T_{s1}+T_{b1}$ is de gearceerde oppervlakte boven de lijn voor v_{gem} gelijk aan die onder deze lijn. In de onderste figuur is de verticale uitwijking van de lichtstip nog eens als functie van de tijd getekend.

met een te geringe helling wordt geschreven (zie *fig. 10*). Doordat het aantal tandparen per beeld e v e n is, en bovendien gelijkmatig is verdeeld, wordt een halve beeldperiode later ook $1\frac{1}{2}$ lijn van het even raster onder dezelfde verminderde helling geschreven (stippellijnen in fig. 10). De interliniëring blijft dus overal goed. Men kan gemakkelijk nagaan dat dit nooit het geval kan zijn indien men b.v. drie, dus een oneven aantal, tandparen per beeld zou hebben. Het uiteindelijke resultaat is dat, bij maximale krimp (1%), op de weergeefbuis het beeld over 3 à 4 lijnen enigszins is vervormd, wat men echter niet waarneemt. Een dergelijke vervorming komt, zoals blijkt uit fig. 9, in het algemeen voor op twee plaatsen in het beeld. Staat de film niet stil gedurende de slip, dan strekt de vervorming zich uit over meer lijnen, maar wordt ze tegelijkertijd minder sterk. Het blijkt dan ook dat op de weergeefbuis de slip niet waarneembaar is.

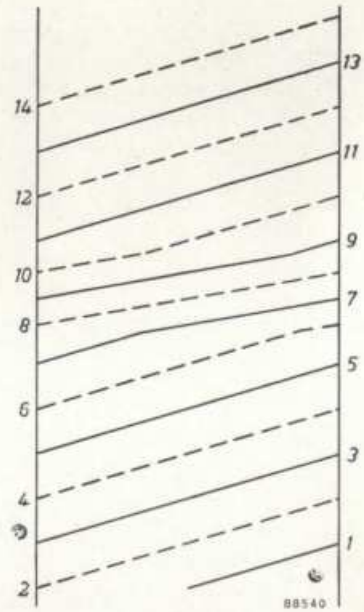


Fig. 10. Vervorming van het raster op de film als gevolg van slip. De cijfers stellen de nummers van de rasterlijnen voor. De interliniëring wordt niet verstoord.

Samenvatting. In Philips' Natuurkundig Laboratorium te Eindhoven is een lichtstipaftaster ontwikkeld voor het uitzenden per televisie van 35 mm-film. In dergelijke aftasters wordt de film met een eenparige snelheid voortbewogen, waardoor de voorgeschreven geïnterlinieerde aftasting van elk filmbeeld een probleem wordt. Dit probleem wordt opgelost met behulp van een dubbele optiek. Aan de gelijkheid van de twee objectieven blijken hoge eisen gesteld te worden, terwijl afwezigheid van vertekening en van vignetteren mede van groot belang is.

Doordat de film steeds enigszins is gekrompen en de aandrijving op de normale wijze met een sprocket geschiedt, is in werkelijkheid de filmsnelheid niet strikt eenparig. Dat dit geen bezwaar is, wordt in het artikel nader uiteengezet.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ENTROPIE IN WETENSCHAP EN TECHNIEK

IV. ENTROPIE EN INFORMATIE

door J. D. FAST en F. L. H. M. STUMPERS.

536.75:621.391

In de 16de jaargang van dit tijdschrift heeft een der schrijvers (J.D.F.) een drietal artikelen gewijd aan het nut dat de toepassing van het entropiebegrip kan hebben voor de behandeling van zeer uiteenlopende problemen in wetenschap en techniek. Daarbij kwamen onderwerpen ter sprake als: de affiniteit van chemische reacties, paramagnetisme, het bereiken van zeer lage temperaturen, warmtemotoren, koelmachines en warmtepompen, straling, soortelijke warmte van vaste stoffen, vacatures en diffusie in vaste stoffen, legeringen, rubber-elasticiteit, en oplossingen van macromoleculen. Het onderhavige, de reeks afsluitende, artikel verschilt enigszins in karakter van de vorige, o.a. doordat de strekking eerder negatief dan positief is. Men komt in de informatieleer tot een begrip dat formeel analoog gedefinieerd is en analoog gehanteerd kan worden als in de thermodynamica het entropiebegrip. Dit kan aan verscheidene toepassingen worden geïllustreerd. Door echter de naam entropie voor het nieuwe begrip te gebruiken, suggereert men ten onrechte dat ook alle thermodynamische implicaties voor het nieuwe begrip van kracht zouden zijn. Voorzichtigheid is hier geboden.

Inleiding

Het begrip informatie speelt een fundamentele rol in twee jonge takken van technische wetenschap, die met de namen communicatietheorie en cybernetica worden aangeduid. Het terrein der communicatietheorie is dat van de overbrenging van berichten door middel van akoestische, mechanische, elektrische of optische signalen. Haar mathematische grondslagen werden duidelijk ontwikkeld door Shannon [1]). Bijzonder ambitieus is de cybernetica of stuurkunde, waarvan Wiener [2]) de grondlegger — en de naamgever — is. De ondertitel van Wiener's boek: „Regeling en communicatie in machines en levende wezens", geeft aan, hoe veelomvattend het gebied is waarop deze wetenschap wil werken. Later heeft dezelfde schrijver zich speciaal met sociologische toepassingen van zijn leer bezig gehouden [3]). Een discipline die communicatietheorie en cybernetica omvat en die informatieleer wordt genoemd, is bezig zich te ontwikkelen. In verschillende symposia hebben beoefenaars van uiteenlopende takken van wetenschap, zoals communicatie-ingenieurs, taalkundigen, psychologen en neurologen, overlegd, in hoeverre hun problemen, die alle te doen hebben met het overbrengen en het gebruik van informatie, een gemeenschappelijk karakter hebben.

In de sinds omstreeks 1945 ontstane literatuur op dit gebied komt men herhaaldelijk het woord „entropie" tegen. Men spreekt dan van de entropie van een informatiebron, de entropie van een taal, de entropie van een televisiebeeld, enz. Helaas wordt het woord entropie hier veelal in een betekenis gebruikt die slechts weinig met de thermodynamisch-statistische entropie van de voorafgaande artikelen I, II en III van deze reeks [4]) te maken heeft. Wij komen hierop terug nadat we iets meer gezegd hebben over communicatie, cybernetica en informatie.

Communicatie

Het behoeft geen betoog dat de communicatie een overheersende rol speelt in het moderne leven. Geen maatschappij, hoe primitief ook, is denkbaar zonder communicatie — primair in de vorm van gebarentaal en het gesproken woord. In de moderne samenleving komen daar nog het geschreven en gedrukte woord, fotografie, telegrafie, telefonie, telex, radio, cinema en televisie bij. Onder communicatie verstaat men algemeen elke overbrenging van informatie van de ene plaats naar de andere. De lichamen en media die hierbij een rol spelen, vormen tezamen een communicatiesysteem. In zijn

[1]) C. E. Shannon, A mathematical theory of communication, Bell System tech. J. **27**, 379-423; 623-656, 1948.
[2]) N. Wiener, Cybernetics, Hermann et Cie., Parijs 1947.
[3]) N. Wiener, The human use of human beings. Cybernetics and society, Houghton Mifflin, Boston 1950.

[4]) J. D. Fast, Entropie in wetenschap en techniek, I. Het begrip entropie, Philips techn. T. **16**, 202-214, 1954 (no. 7); II. Voorbeelden en toepassingen, Philips techn. T. **16**, 278-288, 1954 (no. 9); III. Voorbeelden en toepassingen (vervolg), Philips techn. T. **16**, 336-348, 1954 (no. 11).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

eenvoudigste vorm bestaat een dergelijk systeem (*fig. 1*) uit een informatiebron plus zender aan de ene kant en een ontvanger plus plaats van bestemming aan de andere kant. Daartussen ligt het communicatiekanaal.

Bestaat de communicatie uit het door persoon *A* tot persoon *B* gesproken woord, dan vormen de hersenen en het spraakorgaan van *A* de informatiebron en de zender, terwijl het gehoororgaan en de hersenen van *B* de ontvanger en de plaats van bestemming zijn. De lucht is in dit geval het communicatiekanaal.

De informatiebron selecteert een bericht, d.w.z. kiest een bepaalde volgorde van woorden, letters of cijfers waarin de inhoud van het bericht is vervat, en de zender verandert dit in een signaal, een reeks van symbolen, die door het communicatiekanaal naar de ontvanger worden gezonden. De ontvanger tracht hieruit het oorspronkelijke bericht zo goed mogelijk te reconstrueren, waarna het naar de plaats van bestemming wordt doorgegeven. In het geval van het gesproken woord bestaat het signaal uit geluidsgolven in de lucht, in het geval van lijntelefonie uit de variaties van de elektrische stroom in een draad. Tot de zender behoort in het laatste geval de microfoon, die de geluidsdruk van de stem in een variërende elektrische stroom omzet; van de ontvanger maakt de telefoon deel uit. De geluidsgolven in de lucht en de variërende elektrische stroom in de draad corresponderen volgens een „code" met het over te brengen bericht.

Door het toepassen van de draaggolftelefonie [5]) kan men verscheidene telefoongesprekken tegelijkertijd over een zelfde telefoonlijn, d.w.z. één paar verbindingsdraden, zenden. De laagfrequente elektrische trillingen, die uit de overeenkomstige akoestische trillingen van de spraak zijn verkregen, worden daarbij gemoduleerd op de hoogfrequente trillingen van een draaggolf. Door draaggolven van verschillende frequenties op deze wijze elk afzonderlijk met een laagfrequent gesprek te moduleren, kan men verschillende gesprekken tegelijkertijd overbrengen. De aanmerkelijke vergroting van de efficiëntie van de informatieoverbrenging die hiermee gepaard gaat, doet vanzelf de vraag opkomen, hoeveel informatie er maximaal per tijdseenheid over een telefoonlijn kan worden gezonden. Om deze vraag te kunnen beantwoorden, moet men eerst een maat hebben om „hoeveelheid informatie" in te kunnen uitdrukken. Dat er een eindige grens zal zijn aan het vermogen van een communicatiekanaal om informatie over te brengen, volgt uit de onvermijdelijkheid van het optreden van storende effecten, de zg. thermische ruis (zie I), in elk communicatiesysteem. Deze verdoezelt de details van de overgebrachte symbolen en beperkt daardoor de verstaanbaarheid. Op de genoemde vraag komen we uitvoerig terug nadat we de bedoelde maat voor de informatie zullen hebben ingevoerd en toegelicht.

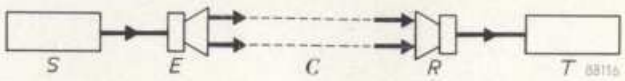


Fig. 1. Schema van een communicatiesysteem. *S* informatiebron (selector), *E* zender + codeerinrichting, *C* communicatiekanaal, *R* ontvanger + decodeerinrichting, *T* plaats van bestemming.

Cybernetica

De cybernetica houdt zich in eerste instantie bezig met zelfregelende systemen en processen. Een zeer eenvoudig voorbeeld van een zelfregelend systeem is een thermostaat, een ruimte die automatisch op een vrijwel constante temperatuur wordt gehouden. De regeling komt b.v. tot stand, doordat het kwik in een speciaal soort thermometer een elektrisch contact sluit, zodra de temperatuur een bepaalde waarde overschrijdt. De elektrische schakeling is zodanig, dat daardoor een hulpstroom via een relais de toevoer van warmte aan de ruimte vermindert. Daalt de temperatuur vervolgens beneden de gewenste waarde, dan wordt de elektrische hulpstroom onderbroken, en het relais doet de toevoer van warmte automatisch toenemen. Het essentiële is hierbij, dat men niet de eenzijdige koppeling heeft als bij een ruimte met een gewone thermometer, waar alleen de stand van de thermometer afhangt van de temperatuur van de ruimte, maar een wederzijdse koppeling, waarbij de temperatuur van de ruimte ook door de stand van de thermometer wordt beïnvloed.

Men kan zeggen, dat de automatische regeling in het besproken geval tot stand komt, doordat de informatie omtrent de temperatuur wordt teruggeleid van de thermometer naar de warmtebron. Deze terugleiding (tegenkoppeling) is het gemeenschappelijk kenmerk van de systemen waarmee de cybernetica zich bezighoudt. De informatie omtrent de afwijking van de gewenste toestand wordt teruggeleid naar het regelmechanisme, dat pas op grond van deze informatie zijn regelende taak kan vervullen.

Een verfijnder voorbeeld van automatische regeling door terugvoering van informatie vindt men bij het automatisch richten van een luchtdoelkanon.

[5]) Zie b.v. H. N. Hansen en H. Feiner, Draaggolftelefonie op coaxiale kabels, Philips techn. T. **14**, 14-23, 1952.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Een radarinstallatie geeft aanwijzingen omtrent de plaats van een vliegtuig aan een elektronisch apparaat, dat via servomotoren het kanon in de gewenste richting beweegt. Om goed te kunnen werken en de juiste orders te kunnen geven aan de servomotoren, moet het elektronische apparaat niet alleen de plaats van het vliegtuig, maar ook de stand van het kanon kennen. Hiervan wordt het door elektrische signalen, uitgaande van een met het kanon verbonden meetinstrument, automatisch op de hoogte gehouden. Deze signalen geven dus weer de vereiste terugleiding van informatie.

Kenmerkend voor dit soort processen is nog, dat het elektronische apparaat bovendien de toekomstige positie van het vliegtuig uit de gegevens over het verleden tracht te voorspellen. De mathematische theorie van deze predictie-problemen is door Wiener en Kolmogoroff uitgewerkt.

Om de ruimere ambities van de beoefenaars der cybernetica te begrijpen, is het nuttig aandacht te schenken aan de automatische processen die in een levend wezen, b.v. een mens, voortdurend plaatsvinden: zijn ademhaling, zijn hartslag, zijn reageren op prikkels, enz. Onafhankelijk van de wil worden vele van deze processen geregeld door „reflexen", die formeel te vergelijken zijn met de besproken mechanismen waarbij informatie wordt teruggeleid. Een voorbeeld is de „vluchtreflex", ook wel, naar het bewegingspatroon, buig- of flexorreflex genoemd. Deze reflex treedt b.v. in werking als we met de hand een heet voorwerp aanraken. Langs de pijnzenuwen gaat een signaal naar het ruggemerg in de vorm van reeksen kort durende elektrochemische impulsen. In het ruggemerg wordt de informatie doorgegeven aan bepaalde motorische zenuwvezels, waarlangs orders gestuurd worden naar de buigspieren van de desbetreffende arm om zich samen te trekken, hetgeen neerkomt op het terugtrekken van de hand van het hete voorwerp. Ook een regulatie door middel van hormonen, dat zijn organische stoffen die door bepaalde klieren in het lichaam worden afgescheiden, kan als een terugkoppelingsmechanisme worden beschouwd. Een bekend hormoon is het insuline, dat in de pancreas wordt gevormd en een belangrijke rol speelt bij de regeling van de suikerstofwisseling.

Men kan met enig recht zeggen, dat alle vegetatieve functies in het lichaam, b.v. het regelen van de samenstelling, de druk en de pH van het bloed, de osmotische druk, de lichaamstemperatuur en de samenstelling van het gas in de longen, op terugkoppeling, hetzij nerveus, hetzij hormonaal, berusten. Deze regeling heeft ten doel voor de weefsels een constant milieu te scheppen, dat onontbeerlijk is voor een goed functioneren van het organisme. Cannon[6]) heeft de bedoelde regulatie met de naam homeostasis aangeduid.

Bij een automatische regeling door terugkoppeling alleen, moet men altijd geringe afwijkingen van de gewenste waarde op de koop toe nemen, aangezien men juist van de afwijkingen gebruik maakt om de correcties tot stand te brengen. Men heeft dus steeds te maken met schommelingen om de gewenste waarde, en tracht deze tot een minimum te beperken. Sommige beoefenaars van de cybernetica zijn ervan overtuigd dat zij op den duur een praktische bijdrage kunnen leveren tot het verminderen van de economische crises die periodiek in onze maatschappij optreden. Zij gaan hierbij uit van het standpunt dat ook deze economische schommelingen op terugkoppeling van informatie berusten in die zin, dat de economische activiteit wordt bepaald door de snelheid van investering, maar dat deze laatste in verband met de winstverwachting weer afhangt van de economische activiteit[7]). Door bepaalde tijdig te nemen maatregelen zou het volgens deze beoefenaars van de cybernetica in principe mogelijk moeten zijn, de economische variaties aan banden te leggen.

Van groot technisch belang is de toepassing van de principes der cybernetica bij de constructie van „automatische fabrieken", een ontwikkeling die steeds meer in het industriële proces naar voren komt. Bij deze „automation" wordt de mens geheel of gedeeltelijk vervangen door „robots", die regelend en besturend in het fabricageproces ingrijpen. Evenals de thermometer in de besproken thermostaat is de robot tegelijk meetinstrument en regulateur. Hij verkrijgt zo nodig de kracht of meer dan de kracht van menselijke spieren door krachtversterking, en zelfs, in de vorm van een elektronisch apparaat, enkele elementaire vaardigheden van de menselijke geest. Zeer opvallend komt dit laatste aspect naar voren in de moderne elektronische rekenmachines, die bepaalde secundaire functies van de menselijke hersenen volledig (en beter) kunnen overnemen.

Het begrip informatie

In het dagelijkse leven spreken we van het ontvangen van informatie, wanneer we iets vernemen dat ons nog niet bekend was. Informatie neemt onzekerheid weg, of nauwkeuriger: *kan* onzekerheid

[6]) W. B. Cannon, The wisdom of the body, uitg. Paul, Trench, Trubner & Co., Londen 1939.

[7]) A. Tustin, The mechanism of economic systems. An approach to the problem of economic stabilisation from the point of view of control-system engineering, Heinemann, Londen 1953.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

wegnemen. Voor de communicatie-ingenieur is slechts het laatste van belang. Hij zal zich enerzijds ervoor interesseren hoeveel informatie men in een bericht kan onderbrengen, anderzijds, hoeveel moeite het overbrengen van het bericht kost. De betekenis voor de ontvanger en het waarheidsgehalte van het bericht liggen buiten zijn domein. Voor de communicatie-ingenieur zijn alle berichten van gelijke lengte gelijkwaardig.

Voor degene die het bericht wil laten verzenden, is vooral van belang zijn vrijheid van keuze bij het selecteren ervan. Wil men b.v. een bericht laten verzenden dat uit een reeks van duizend symbolen bestaat, gekozen uit een alfabet van 32 symbolen (26 letters + enkele interpunctietekens), dan kiest men één uit een totaal aantal van 32^{1000} mogelijke berichten. Was immers het bericht slechts één symbool lang, dan had men de keuze uit 32 mogelijkheden. Was het bericht 2 symbolen lang, dan zou elk der 32 symbolen door elk der 32 symbolen gevolgd kunnen worden, zodat men de keuze uit 32^2 mogelijkheden had, enz. In de gangbare praktijk van het gesprek, de telefonie en de telegrafie, beperkt men zich tot die reeksen symbolen die een begrijpelijk bericht in één der bekende talen of een afgesproken code opleveren. Voor zulk een bericht van 1000 symbolen heeft men dan nog wel de keuze uit zeer vele, maar toch aanzienlijk minder dan 32^{1000} mogelijkheden.

Beschouwen we voorlopig de symbolen als onafhankelijk van elkaar, en met gelijke waarschijnlijkheid optredend, dan luidt de algemene uitdrukking voor het aantal, q, mogelijke berichten van N symbolen lengte, gekozen uit m verschillende symbolen: $q = m^N$. Een ander bericht zij M symbolen lang. Dan is het aantal mogelijke keuzen dus $q' = m^M$. Worden beide berichten achter elkaar getelegrafeerd, en als één bericht beschouwd, dan is een keuze gemaakt uit $Q = m^N \times m^M$ mogelijke berichten. Aan de andere kant is het logisch te zeggen, dat de totale door het telegraafkantoor verrichte dienst de som is van de beide afzonderlijke diensten. Deze diensten bestaan uit het overbrengen van informatie. We zoeken dus naar een definitie van het begrip hoeveelheid informatie I, welke een functie is van het aantal mogelijke berichten, en wel zo, dat:

$$I\,(m^N) + I\,(m^M) = I\,(m^{N+M})\,.$$

Om aan deze eis van additiviteit te voldoen, definieert men de hoeveelheid informatie in een bericht van bepaalde lengte als de logaritme van het aantal mogelijke berichten van die lengte. In het beschouwde geval krijgen we dus:

Eerste hoeveelh. inform.: $\log q = N \log m$
Tweede hoeveelh. inform.: $\log q' = M \log m$
Totale hoeveelh. inform.: $\log Q = (N + M) \log m$.

Elk afzonderlijk symbool uit de reeks van m even waarschijnlijke en onderling onafhankelijke symbolen vertegenwoordigt dus een hoeveelheid informatie

$$i = \log m = -\log p, \qquad \text{(IV, 1)}$$

waarin $p = 1/m$ de a-prioriwaarschijnlijkheid der symbolen is. Het grondtal van de logaritmen kan hierbij nog vrij worden gekozen; die keuze heeft alleen een verandering in de grootte van de eenheid ten gevolge. Deelt men een keuze uit twee even waarschijnlijke mogelijkheden mee, dan geeft men volgens (IV, 1) een hoeveelheid informatie $i = \log 2$. Dit is de eenvoudigste situatie welke zich kan voordoen, en het ligt voor de hand deze hoeveelheid informatie als eenheid te kiezen: log 2 krijgt de getalwaarde 1, wanneer men 2 als basis van het logaritmenstelsel kiest. Dit is dan ook in de communicatietheorie gebruikelijk geworden. Men noemt deze eenheid van informatie een „bit" (afgeleid van „binary digit"). Formule (IV, 1) geeft, zoals het zijn moet, een grotere getalwaarde aan de informatie naarmate de vrijheid van keuze groter en dus het resultaat minder te verwachten (onwaarschijnlijker) is.

Blijkens het voorgaande heeft de keuze van het logaritmisch verband in de definitie (IV, 1) een analoge oorzaak als het optreden van de logaritme in de definitie (I, 12) van de thermodynamisch-statistische entropie, nl. het additief zijn van de hoeveelheden informatie in het ene en van de hoeveelheden entropie in het andere geval, en het multiplicatief zijn der waarschijnlijkheden van onafhankelijke gebeurtenissen in beide gevallen (zie I, pag. 210).

De „entropie" van een reeks gebeurtenissen

Een enkel symbool uit een taal die $32 = 2^5$ even waarschijnlijke en onderling onafhankelijke symbolen kent, geeft volgens formule (IV, 1) 5 bits informatie. In werkelijkheid zijn de symbolen van een taal niet even waarschijnlijk, terwijl zij evenmin onafhankelijk van elkaar optreden. Om een schatting te kunnen maken van de werkelijke informatie-inhoud per symbool zullen wij ons eerst bevrijden van de beperking dat de symbolen even waarschijnlijk zijn. In een latere paragraaf zullen wij ook de tweede beperking laten vallen.

We beginnen dus met een denkbeeldige taal te beschouwen waarin de symbolen verschillende

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

waarschijnlijkheden hebben en onafhankelijk van elkaar zijn. De waarschijnlijkheden worden voor een bepaalde taal onmiddellijk gegeven door de frequenties waarmee de symbolen in willekeurige teksten in die taal voorkomen. Voor de frequenties van letters in de Nederlandse taal vond De Vries[8]) uit een steekproef van 10 000 letters de volgende relatieve frequenties.

Tabel I. Waarschijnlijkheden voor het optreden der verschillende letters in de Nederlandse taal.

Letter	Waarschijnlijkheid	Letter	Waarschijnlijkheid
e	0,200	k	0,023
n	0,108	m	0,022
i	0,066	w	0,018
a	0,065	u	0,018
r	0,063	b	0,017
d	0,061	j	0,017
t	0,058	z	0,014
o	0,057	c	0,014
g	0,037	p	0,013
l	0,035	f	0,006
s	0,035	q	0,000
h	0,030	x	0,000
v	0,024	y	0,000

Het blijkt, dat de letterfrequenties slechts in geringe mate beïnvloed worden door het onderwerp en de schrijver van de tekst. Zelfs bij een oude tekst van Vondel kreeg men ongeveer hetzelfde resultaat.

De hoeveelheid informatie die door één letter wordt gegeven, definiëren we in analogie met formule (IV, 1) als $-\log p$, wanneer p de relatieve frequentie is waarmee deze letter voorkomt. Men kan zich nu afvragen, hoeveel informatie gemiddeld ontvangen wordt bij ontvangst van een symbool uit een Nederlandse tekst. Er is dan een kans p_e dat het een e zal zijn, in welk geval een hoeveelheid informatie $-\log p_e$ wordt ontvangen. Er is voorts een kans p_n, dat het een n zal zijn, in welk geval een hoeveelheid informatie $-\log p_n$ wordt ontvangen, enz. De gemiddelde hoeveelheid informatie per ontvangen symbool is dus

$$H = \overline{-\log p_v} = -\sum_v p_v \log p_v \text{ bits per symbool.} \quad \ldots \text{ (IV, 2)}$$

Op een constante factor na zijn we formeel dezelfde formule reeds eerder tegengekomen (I, 16). Daar definieerde ze de entropie uit de statistische thermodynamica. In navolging van Shannon heeft men nu ook aan de zojuist gedefinieerde grootheid H de naam entropie toegekend, een gebruik dat te betreuren valt. Wij geven de voorkeur aan informatie-inhoud per symbool. Het verband immers tussen deze informatie-entropie en de thermodynamisch-statistische entropie is slechts van formeel mathematische aard; het ontstaat door de gemeenschappelijke statistische achtergrond. Het thermodynamische begrip entropie heeft echter ook fysische implicaties; het staat in direct verband met de hoeveelheid warmte die gedurende een proces tussen systeem en omgeving kan worden uitgewisseld en het is onverbrekelijk verbonden met het begrip temperatuur (zie I).

De zojuist voor een taal gegeven definitie van (gemiddelde) hoeveelheid informatie per symbool, of entropie, geldt algemeen voor reeksen van gebeurtenissen die ieder met een bepaalde waarschijnlijkheid kunnen optreden. Kunnen slechts twee dingen gebeuren — met waarschijnlijkheden p en $(1-p)$ — dan wordt de gemiddelde hoeveelheid informatie per gebeurtenis gegeven door

$$H = -p \log p - (1-p) \log (1-p). \qquad \text{(IV, 3)}$$

In *fig. 2* vindt men een grafische voorstelling van deze H als functie van p. Zoals men ziet, is H maximaal (= log 2 of 1 bit), als de twee mogelijkheden

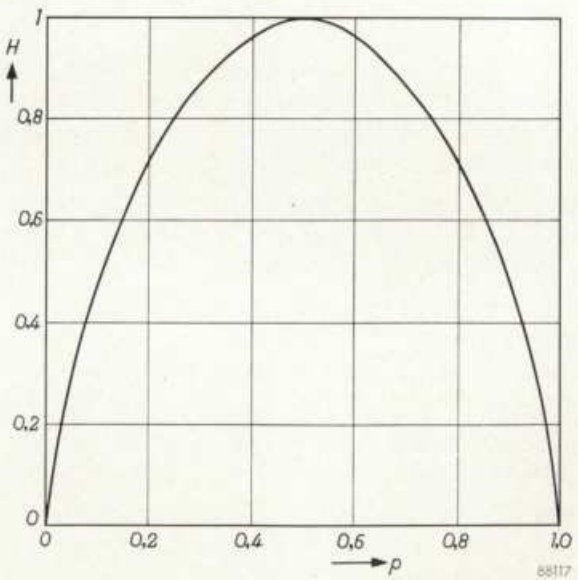


Fig. 2. De functie $H = -p\ ^2\log p - (1-p)\ ^2\log (1-p)$.

even waarschijnlijk zijn, d.w.z. als $p = (1-p) = 0{,}5$. Dit is in overeenstemming met het feit, dat dan vóór het gebeuren de grootst mogelijke onzekerheid omtrent de afloop bestaat. In de grensgevallen $p = 1$ (zekerheid) en $p = 0$ (onmogelijkheid) levert

[8]) M. de Vries, Kwantificering in taal en crypto-analyse, Statistica **7**, 233-256, 1953.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

formule (IV, 3) de waarde $H = 0$. Er bestaat dan immers in het geheel geen onzekerheid.

Keren we van formule (IV, 3) weer terug naar de algemene formule (IV, 2), dan kan worden opgemerkt dat ook in dit geval de hoeveelheid informatie per gebeurtenis (d.w.z. H) maximaal is indien alle waarschijnlijkheden aan elkaar gelijk zijn, dus als men maximale vrijheid van keuze heeft, of, anders gezegd, wanneer de onzekerheid omtrent de uitkomst van een keuze maximaal is.

J. F. Schouten[9]) heeft er de aandacht op gevestigd dat men bij deze beschouwingen de activiteit of „manipulatie", welke tot de informatie leidt, dient te onderscheiden van de informatie zelf, die immers passief is (overgebracht wordt). De hoeveelheid manipulatie drukt Schouten uit in bics (binary choice); zij is gelijk aan de maximale hoeveelheid informatie (in bits), welke men van het proces kan verwachten. Tussen de „actieve" grootheid bic en de „passieve" grootheid bit wordt niet algemeen onderscheid gemaakt.

Ter illustratie van het bovenstaande zij hier het door de radio bekend geworden spel genoemd, waarbij de naam van een voorwerp moet worden geraden door het stellen van vragen, waarop men alleen ja of neen ten antwoord krijgt. De beste strategie voor de vrager is het, de vragen zo te stellen, dat beide antwoorden ongeveer gelijke kans hebben. Een eenvoudig voorbeeld dat dit principe illustreert, is het volgende. Heeft men een voorwerp te situeren op een schaakbord ($64 = 2^6$ velden), dan kan men het snelst, d.w.z. in zes vragen, klaar komen door telkens het bord juist te halveren (onderste helft, bovenste helft, linkerhelft, rechterhelft, enz.). Iets moeilijker is reeds het volgende geval. Men heeft een weegschaal (zonder gewichten) en twaalf munten van gelijk uiterlijk. Eén van deze munten is vals. De vraag wordt gesteld, hoeveel wegingen men minstens nodig heeft om uit te maken, welke munt vals is en of deze te licht, dan wel te zwaar is. Men moet hiertoe dus uit twaalf munten er één aanwijzen, en dan nog kiezen uit 2 mogelijkheden. Dit vereist dus $^2\log 12 + {}^2\log 2 = 4{,}585$ bits informatie. Eén weging kan 3 resultaten opleveren: evenwicht, links zwaarder, rechts zwaarder. Per weging kunnen we dus hoogstens $^2\log 3 = 1{,}585$ bits informatie verwachten. Op grond hiervan is te voorzien dat met 3 wegingen kan worden volstaan, indien men deze op de juiste wijze uitvoert. Men zal vinden, dat dit inderdaad gelukt, zij het niet zonder moeite. Men moet zijn experimenten dan zo inrichten, dat de drie mogelijke resultaten van elke weging steeds ongeveer gelijke waarschijnlijkheid bezitten.

De totale vereiste hoeveelheid informatie ($^2\log 24$ bits) is geringer dan de maximale hoeveelheid informatie die men uit drie wegingen kan verkrijgen ($3 \times {}^2\log 3 = {}^2\log 27$ bits). Daarmee hangt samen dat er, om de puzzel in drie wegingen tot een goede oplossing te brengen, verscheidene strategieën bestaan, die slechts in geringe mate van elkaar afwijken. Een voorbeeld van een goede strategie is de volgende.

Verdeel de twaalf munten in drie groepen van vier, en weeg twee groepen tegen elkaar. Slaat de balans door, dan zijn de acht gewogen munten verdeeld in een groep van vier die mogelijk een te lichte munt telt, en een groep van vier waar mogelijk een te zware bij is. Voor de tweede weging kiezen we nu twee mogelijk te lichte munten en één mogelijk te zware op iedere zijde van de weegschaal. Is er evenwicht, dan weten we, dat een van de twee overgebleven munten vals en te zwaar is. Een enkele weging geeft dan aan, welke munt de valse is. Is er geen evenwicht, dan weegt men de twee potentieel te lichte munten op de schaal welke omhoog ging, tegen elkaar. Wanneer bij deze derde weging er geen evenwicht is, is de munt welke omhoog gaat, vals en te licht. Is er echter wel evenwicht, dan is de mogelijk te zware munt op de andere schaal inderdaad de schuldige.

Rest nog de mogelijkheid, dat reeds de eerste weging evenwicht van de balans gaf. We nemen dan drie van de vier overgebleven munten met één van de acht goede, en verdelen dit viertal in twee groepen. Is er evenwicht, dan is de overgebleven munt vals, en een enkele weging geeft aan of deze te zwaar dan wel te licht is. Is er geen evenwicht, dan wegen we de twee munten die niet naast de goede munt lagen, tegen elkaar, en het resultaat van deze derde weging beslist ondubbelzinnig. Het is instructief, de bij deze experimenten verkregen informatie met behulp van formule (IV, 2) telkens te berekenen.

Verwant is het probleem om uit 13 er gelijk uitziende munten, waarvan er misschien één vals is, in drie wegingen deze munt (indien aanwezig) te bepalen en uit te maken of hij te licht of te zwaar is. Hierbij mag gebruik gemaakt worden van een veertiende, echte, standaardmunt. Bij dit probleem bedragen zowel de vereiste als de maximaal te verkrijgen hoeveelheid informatie $^2\log 27$ bits, en er bestaat daardoor slechts één mogelijke goede strategie.

De „entropie" van een taal

Berekent men de gemiddelde hoeveelheid informatie per letter van de Nederlandse taal uit de waarschijnlijkheden van tabel I, dan krijgt men 4,04 bits/letter. Hadden de 26 letters gelijke waarschijnlijkheden, dan gold $H = {}^2\log 26 = 4{,}70$ bits/letter. De hoeveelheid informatie per letter is dus gereduceerd [10]), zelfs reeds bij een onafhankelijke keuze. In werkelijkheid is bovendien de waarschijnlijkheid van een letter afhankelijk van de reeds doorgeseinde of opgeschreven letters. Wij verduidelijken dit met twee voorbeelden: 1) De waarschijnlijkheid van de letter u is niet bijzonder groot, maar de waarschijnlijkheid dat op een q een u volgt, wijkt weinig van 1 af. 2) Hebben wij als deel van een bericht

[9]) J. F. Schouten, Proceedings of the Symposium on Information Theory, Londen 1950, blz. 195.

[10]) Bij de waarschijnlijkheid per symbool zou men ook rekening moeten houden met de frequenties van spaties en leestekens. Dit is hier niet gedaan, om van bestaande tabellen gebruik te kunnen maken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

reeds de symbolen: „Ik kom mor . . ." ontvangen, dan is het zeer waarschijnlijk dat de eerstvolgende letters „gen" zullen zijn, al zijn o.a. „ellen", „aal" en „ren" niet helemaal uitgesloten. Andere voorbeelden van correlatie kunnen gemakkelijk in groten getale worden gegeven. Zij hebben alle tot resultaat dat het aantal mogelijke en begrijpelijke berichten van gegeven lengte kleiner is, dan het bij afwezigheid van correlatie zou zijn.

Een kunstgreep om de werkelijke hoeveelheid informatie per symbool bij benadering te berekenen, is de volgende: Wij verstaan onder p_ν in formule (IV,2) de waarschijnlijkheid van het optreden van supersymbolen, die elk A symbolen lang zijn. Maken we A groter en groter, dan worden de intercorrelaties der supersymbolen kleiner en kleiner. De supersymbolen kunnen, mits voldoende lang, dus vrijwel onafhankelijk van elkaar worden gekozen. In een zeer lang bericht van N supersymbolen, zullen gemiddeld $p_1 N$ exemplaren van het eerste supersymbool, $p_2 N$ van het tweede supersymbool, enz. aanwezig zijn. Voor de informatie per supersymbool krijgen we dan volgens (IV, 2):

$$-\sum_\nu p_\nu(A) \log p_\nu(A).$$

Aangezien elk supersymbool uit A symbolen bestaat, krijgen we voor de gemiddelde informatie per symbool:

$$H = -\lim_{A\to\infty} \frac{1}{A} \sum_\nu p_\nu(A) \log p_\nu(A) \text{ bits per symbool.} \quad \ldots \text{ (IV,4)}$$

Een steeds betere benadering van H kan dus worden verkregen door voor A achtereenvolgens 1, 2, 3, . . . te kiezen, d.w.z. door de frequenties te bepalen waarmee enkele symbolen, symboolparen, -drietallen, enz. in de taal optreden. Een andere schatting van de hoeveelheid informatie per symbool verkrijgt men door experimenteel na te gaan, hoe dikwijls iemand moet raden voor hij de volgende letter in een gegeven tekst heeft gevonden, en dan de daaropvolgende letter, enz. Er zijn nog niet voldoende dergelijke experimenten gedaan om de werkelijke informatie-inhoud per symbool van een taal langs deze weg nauwkeurig te kunnen bepalen. Wel is gebleken dat voor de moderne talen de informatie-inhoud in de buurt van 1,5 bits per symbool ligt.

Welke rol de statistische structuur in een taal speelt, is op aardige wijze door Shannon naar voren gebracht. Hij beschouwt eerst een bericht waarin de 26 letters en het spatiesymbool met hun natuurlijke frequentie, maar onafhankelijk van elkaar voorkomen, daarna een bericht, waarin de symbooltweetallen met de juiste frequentie voorkomen, enz. Men kan zelf dergelijke teksten construeren, voor tweetallen b.v. als volgt: Neem een willekeurig boek, en kies een of ander symbool, b.v. de 10e letter van de 3e regel van pag 23; schrijf dit op. Lees op de volgende pagina vanaf hetzelfde punt verder tot hetzelfde symbool weer verschijnt, en teken het symbool op dat nu volgt. Ga daarna op de volgende pagina door tot ge dit tweede symbool weer tegenkomt, en zo verder. Analoog gaat men te werk voor een tekst uit letterdrietallen, enz. Op deze wijze zijn de volgende benaderingen tot Nederlands geconstrueerd:

1) edsodvdea e giopovr nereygieaurme osknnr e a eugilieaeokt aegemdezldni einnol l s ve u h r ieili ivto
2) in aandinan dekzetgendat aaafiet ocompaldan we t dschankeroee nange hop vr mikwooozwage vartin be de
3) van flichter over wameelniep zite te gehoorts en madat inte agnes staan wetsje likke oveefelijkter ma
4) us lijf medaar wij nog netje overfvijand als zweven poot em kesinigem tween dans hierstraal hard hem te e

In de vierde benadering herkennen we reeds woorden en woordgedeelten. Aangezien de volgende benaderingen steeds meer tijd gaan vragen, hebben we niet getracht er nog meer te maken.

Een analoog beeld, maar dat veel sneller op de taal gaat lijken, krijgt men door niet letter- maar woordfrequenties in aanmerking te nemen. Op deze wijze vindt men:

1) ontvangkamer antwoordde hij zoals dierbare van haar gedachten met de op zorg werkelijkheid je vogels volbrengen plek gebaar mijn wijze gewaarschuwd ruiter moest zei haar
2) in een lange man en waar hij zichzelf zoals mijn moeder soms kwam zeilen en hield hij dacht want de borst een hevige

Van een verdere benadering hebben we hier afgezien, omdat de korte zin onder 2) reeds het lezen van 141 bladzijden tekst vergde.

Uit al deze voorbeelden zien we, dat naarmate meer rekening wordt gehouden met de structuur van de taal, de keuzemogelijkheid steeds meer beperkt wordt. Daaruit volgt dat de informatie-inhoud per symbool kleiner is dan hij bij vrije, onafhankelijke keuze zou zijn. Dit verschil tussen de maximale informatie-inhoud per symbool en de werkelijke informatie-inhoud wordt redundantie R genoemd:

$$R = H_{\max} - H. \quad \ldots \text{ (IV, 5)}$$

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Men beschouwt ook dikwijls de relatieve redundantie, d.w.z. de verhouding van de redundantie tot de maximale informatie-inhoud:

$$r = \frac{H_{max} - H}{H_{max}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (IV,6)$$

Voor talen als Engels, Frans, Duits, Nederlands, bedraagt de relatieve redundantie 60 à 70%. (Volgens blz. 175 is immers $H_{max} = 4{,}70$, terwijl volgens blz. 176 $H \approx 1{,}5$.) Bij het telegrafisch overbrengen van informatie in een der genoemde talen zou men dus in principe 70% van de tijd kunnen besparen door de berichten in een zodanige code om te zetten dat de redundantie vrijwel nul geworden is. Dit vereist uiteraard het coderen als een geheel van zeer lange symbolenreeksen, die onderling vrijwel geen correlatie meer bezitten. Het gebruik van een dergelijke gecompliceerde code veroorzaakt op zijn beurt weer enige vertraging. Men zou deze wellicht op de koop toe willen nemen, wanneer een eindige redundantie niet ook bepaalde voordelen met zich meebracht. Immers, bij een eindige redundantie wordt het mogelijk, een door storingen of ruis verminkt bericht aan de ontvangzijde te reconstrueren. Ontvangt men b.v. een telegram: „Ig bal morgen homen", dan neemt men onmiddellijk aan dat bedoeld was: „Ik zal morgen komen". In een code met maximale informatie-inhoud per symbool echter geeft elke verandering een nieuwe betekenis aan het bericht, en is het per definitie niet meer mogelijk uit het zinsverband de oorspronkelijke betekenis te achterhalen. Daar vervorming tijdens het overbrengen onvermijdelijk is, welke de wijze van communicatie ook zij (ruis bij elektrische overbrenging, omgevingslawaai bij het gesproken woord), dient een taal steeds een zekere redundantie te bezitten. Het feit dat de redundanties der bekende talen ondanks (of dank zij?) hun zeer lange geschiedenis niet ver uiteenlopen, doet vermoeden dat deze „algemene" redundantie niet ver van de optimale waarde is verwijderd [11]). Een kleine vermindering der redundantie is overigens nog wel zonder schade mogelijk. In het Nederlands heeft men dit bij de achtereenvolgende spellingsherzieningen kunnen waarnemen, b.v. toen de ch in tal van woorden geschrapt werd.

De „entropie" van een televisiesignaal

Men kan de algemene beschouwingen over de „entropie" van een reeks gebeurtenissen op elke vorm van communicatie toepassen. Zeer in het kort duiden we de toepassing op de televisie aan.

Stel dat de afzonderlijke beeldelementen van een normaal zwart-wit televisiebeeld n verschillende helderheidsniveaus kunnen aannemen. Noemen we weer de waarschijnlijkheden voor het optreden van deze niveaus p_ν, dan zou de „entropie" van elk televisiebeeld

$$H = -\sum_{\nu=1}^{n} p_\nu \log p_\nu \text{ bits per beeldelement}$$

bedragen, als de helderheden van de afzonderlijke beeldelementen volkomen onafhankelijk van elkaar waren. (Ook hier kan men beter niet van entropie spreken maar van de hoeveelheid informatie per beeldelement.) De helderheden van de beeldelementen vertonen echter zowel in plaats als in tijd sterke correlatie. De meeste beeldpunten in een zinvol beeld wijken in helderheid slechts weinig af van naburige punten. Ook zouden we geen indruk van continue beweging krijgen, wanneer niet een groot deel der helderheden in de tijd slechts geleidelijk veranderde. Evenals bij de taal bestaat er dus bij het televisiebeeld een sterke redundantie, en evenmin als bij de taal zou een beeld dat alleen de statistisch juiste helderheidsverdeling bezat, een goede benadering tot een normaal beeld leveren.

De efficiëntie van de informatieoverbrenging van de televisiezender naar de ontvanger wordt door de aanmerkelijke redundantie in ongunstige zin beïnvloed. Dit uit zich o.a. in de noodzakelijkheid van een zeer grote bandbreedte bij de huidige televisiesystemen. Er zijn onlangs interessante suggesties gedaan op welke wijze (o.a door het toepassen van een gunstige codering), *met* de redundantie de bandbreedte van het over te brengen signaal verminderd zou kunnen worden [12]). De communicatietheorie heeft hier reeds de grenzen van het bereikbare aangegeven, maar de toekomst zal moeten leren, in hoeverre de techniek deze grenzen zal kunnen benaderen.

Capaciteit van een communicatiekanaal met ruis

In het voorgaande zijn terloops reeds verscheidene malen de mogelijke storing en verminking van de informatie-inhoud van een bericht tijdens de overbrenging ter sprake gekomen. De signalen die het bericht in de een of andere codevorm behelzen, bereiken hun bestemming in het algemeen pas via een transmissieweg (telefoonlijn, radioverbinding) waarin storingen optreden. De voornaamste storing,

[11]) Uitvoerige studies over dit en andere structuurverschijnselen van de taal werden gemaakt door B. Mandelbrot. Zie b.v. Structure formelle des textes et communication, Word **10**, 1-17, 1954.

[12]) E. C. Cherry en G. G. Gouriet, Proc. Inst. Electr. Engrs. **100**, 9-18, 1953.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

en een die bovendien steeds optreedt, is de zg. thermische ruis. Deze is het gevolg van de thermische fluctuaties in de weerstanden en buizen van zender, ontvanger en versterkerstations en van eventuele andere toevallige fluctuaties die onderweg ontstaan. Door de storende invloed van de ruis hebben we bij ontvangst van een bepaald symbool geen zekerheid dat dit symbool ook werkelijk werd uitgezonden. Daardoor is de ontvangen informatie geringer dan wanneer geen ruis optrad. Beschouwen wij eens het geval dat er in totaal n symbolen zijn die alle met gelijke a-prioriwaarschijnlijkheid uitgezonden kunnen worden. De ontvangst van elk symbool zou ons dan, bij afwezigheid van ruis, $^2\log n$ bits informatie opleveren. Wanneer nu echter de ruis b.v. tot gevolg heeft dat ontvangst van een bepaald symbool slechts betekent dat we met gelijke waarschijnlijkheid uit drie „naburige" symbolen kunnen kiezen, dan ontbreken ons dus nog $^2\log 3$ bits aan informatie, en we hebben dus slechts $^2\log n - {}^2\log 3$ bits ontvangen.

Een dergelijke invloed van de ruis kan men zich b.v. in een communicatiesysteem van de volgende vorm voorstellen: de informatie, in een bericht vervat, wordt aan de zendzijde gecodeerd in de vorm van korte gelijkvormige elektrische impulsen, die in snelle opeenvolging worden uitgezonden (*fig. 3*).

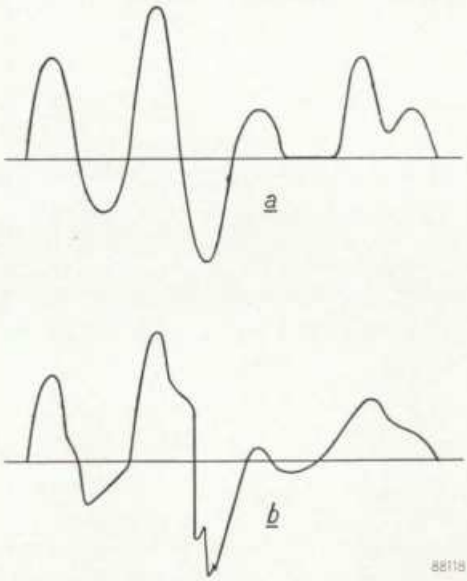


Fig. 3. Informatieoverbrenging door reeksen van sinusvormige impulsen. In de amplitude van de impulsen is de informatie vervat. Aan de ontvangzijde (*b*) komen de impulsen verminkt aan en is een ondubbelzinnige herkenning van het oorspronkelijke symbool zoals het was aan de zendzijde (*a*), niet mogelijk.

Elke letter correspondeert dan b.v. met een bepaalde impulshoogte. De ruis zal nu bewerken dat aan de ontvangzijde de impulsen verminkt aankomen, en dat er daar een bepaalde onzekerheid zal bestaan omtrent de oorspronkelijke hoogte van elke impuls. Naarmate de invloed van de ruis groter is vergeleken met de kleinste niveauafstand tussen twee, met verschillende symbolen corresponderende impulsen, zal de onzekerheid bij ontvangst van elk symbool groter en de verkregen informatie dus geringer zijn.

Het is mogelijk deze gedachten in een wat strengere mathematische vorm te kleden. Wij zullen in het volgende enkele algemene formules afleiden omtrent de maximale hoeveelheid informatie per symbool die aan de ontvangzijde van een communicatiesysteem met ruis verkregen kan worden, en over het vermogen dat ten minste aan de overbrenging van informatie ten grondslag moet worden gelegd. Bij dit laatste probleem komt zowaar de thermodynamische entropie nog om de hoek kijken.

Zij de waarschijnlijkheid dat een bepaald symbool aan de zendzijde wordt uitgezonden, p_ν. Bij correcte overbrenging van onderling onafhankelijke symbolen zou dan de gemiddelde informatie-inhoud per symbool aan de ontvangzijde

$$H = -\sum_\nu p_\nu \log p_\nu \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (IV, 2)$$

bedragen. Deze en alle volgende sommaties dienen over de gehele voorraad symbolen te worden uitgevoerd.

Zij nu $p_{\mu\nu}$ de kans dat, als een symbool μ wordt uitgezonden, aan de ontvangzijde het symbool ν wordt gedetecteerd; $p_{\mu\nu}$ zou men een overgangswaarschijnlijkheid kunnen noemen. In een ruisvrij kanaal is

$$p_{\mu\nu} = \begin{cases} 1 \text{ als } \mu = \nu, \\ 0 \text{ als } \mu \neq \nu. \end{cases} \quad . \quad . \quad . \quad (IV, 7)$$

Wordt een willekeurige, lange reeks van symbolen uitgezonden, dan is per ontvangen symbool de totale kans dat dit ν is, gelijk aan

$$k_\nu = \sum_\mu p_{\mu\nu} p_\mu \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (IV, 8)$$

en de kans dat, als een symbool ν ontvangen wordt, dit het gevolg is van de uitzending van een symbool λ, is

$$P_{\lambda\nu} = \frac{p_\lambda p_{\lambda\nu}}{k_\nu} = \frac{p_\lambda p_{\lambda\nu}}{\sum_\mu p_\mu p_{\mu\nu}} \quad . \quad . \quad . \quad (IV, 9)$$

De ontvangst van symbool ν laat voor elk symbool nog een kans volgens (IV, 9) open dat *dit* het werkelijk uitgezonden symbool was. De onzekerheid of het ontvangen symbool hetzelfde is als het uitgezonden symbool, is dus

$$h_\nu = -\sum_\lambda P_{\lambda\nu} \log P_{\lambda\nu} \quad . \quad . \quad (IV, 10)$$

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De gemiddelde onzekerheid bij ontvangst van willekeurig welk symbool is nu:

$$\bar{h} = \sum_{\mu} k_\nu \cdot h_\nu = -\sum_{\nu} \sum_{\lambda} p_\lambda p_{\lambda\nu} \log \frac{p_\lambda p_{\lambda\nu}}{\sum_{\mu} p_\mu p_{\mu\nu}} . \quad (IV, 11)$$

De gemiddelde per symbool ontvangen hoeveelheid informatie bedraagt dus

$$H - \bar{h} = -\sum_{\nu} \left[p_\nu \log p_\nu - \sum_{\lambda} p_\lambda p_{\lambda\nu} \log \frac{p_\lambda p_{\lambda\nu}}{\sum_{\mu} p_\mu p_{\mu\nu}} \right] . \quad (IV, 12)$$

De ruiseigenschappen van het communicatiekanaal worden geheel en al bepaald door de overgangswaarschijnlijkheden $p_{\mu\nu}$. In een ruisvrij kanaal, waarvoor (IV, 7) geldt, verifieert men gemakkelijk dat $\bar{h} = 0$. Als de overgangswaarschijnlijkheden gegeven zijn, kan men de relatieve waarschijnlijkheden p_ν van de uit te zenden codesymbolen met opzet zo kiezen, dat de meest gestoorde symbolen (met de grootste waarden h_ν) het minst gebruikt worden. Dit betekent een speciale keuze van codering. Bij een optimale keuze van de codering is $\bar{h}$ minimaal en de hoeveelheid overgebrachte informatie per symbool maximaal. De informatieoverbrenging welke dan plaatsvindt, heet de capaciteit van het communicatiekanaal. Shannon heeft aangetoond dat men de capaciteit van een communicatiekanaal in principe ten volle kan benutten door zeer lange reeksen van symbolen (letters) telkens door één bepaald samengesteld symbolenstelsel (impulsenreeks) voor te stellen. Van alle mogelijke samengestelde symbolenstelsels gebruikt men dan slechts die welke onderling zoveel van elkaar verschillen dat de kans klein is, dat ze door toevallige fouten met elkaar verward kunnen worden. In de praktijk zou dit erop neerkomen dat men in een soort dictionaire allerlei uitgebreide boodschappen reeds van te voren klaargemaakt door samengestelde symbolen had „vertaald". De uitgebreidheid der codeboeken en de vertraging bij het opzoeken van de „vertaling" stellen een grens aan de mogelijkheid dit ideaal in de praktijk te bereiken.

We zullen het voorgaande nu toepassen op het eerder beschreven eenvoudige model van een communicatiesysteem, waarin de codering geschiedt in de vorm van spanningsimpulsen waarvan de hoogte het symbool aanduidt. In een ruisvrij communicatiekanaal heeft men in principe een aftelbaar oneindige hoeveelheid symbolen tot zijn beschikking: men kan dan nl. zowel aan de zend- als aan de ontvangzijde een duidelijk onderscheid maken tussen willekeurig kleine amplitudeverschillen. Op deze wijze zou men elk bericht in één impuls kunnen uitdrukken door de hoogte daarvan in miljoenen decimalen te meten, en door b.v. af te spreken dat de eerste twee decimalen de eerste letter, de volgende twee decimalen de tweede letter, enz., zouden voorstellen. In werkelijkheid is steeds ruis aanwezig, die maakt dat men de oorspronkelijke hoogte van een uitgezonden impuls aan de ontvangzijde in het algemeen slechts met een bepaalde onzekerheid kan bepalen, zodat men slechts impulsen van elkaar kan onderscheiden die aan de zendzijde reeds een eindig hoogteverschil bezaten.

Thermische ruis heeft bij constante temperatuur en in lineaire netwerken een stationair karakter, d.w.z. de waarschijnlijkheidsverdeling van de fluctuerende ruisspanning V hangt niet van de tijd af. Deze waarschijnlijkheidsverdeling is dan die volgens Gauss: de kans dat de spanning op een gegeven ogenblik tussen V en $V + \mathrm{d}V$ ligt, wordt gegeven door

$$W(V)\,\mathrm{d}V = \sqrt{\frac{a}{\pi}}\, \mathrm{e}^{-aV^2}\,\mathrm{d}V . \quad (IV, 13)$$

Het gemiddelde kwadraat van de ruisspanning, of het vermogen dat in een weerstand van 1 Ω ontwikkeld wordt, bedraagt dan:

$$N = \overline{V^2} = \sqrt{\frac{a}{\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} V^2\, \mathrm{e}^{-aV^2}\,\mathrm{d}V = \frac{1}{2a} . \quad (IV, 14)$$

Twee uitgezonden impulsen met verschillende hoogte zullen aan de ontvangzijde nu slechts redelijk onderscheidbaar zijn indien het niveauverschil, in energiemaat uitgedrukt, ten minste van de orde van grootte van het bedrag (14) is. Nadere uitwerking leert dat, indien de niveaus in spanning het bedrag $\sqrt{2N} = \sqrt{1/a}$ uiteenliggen, de kans ongeveer $\frac{1}{2}$ bedraagt (nauwkeuriger 0,48), dat ten gevolge van de ruis een impuls zo wordt vervormd dat de halve afstand tot een naastbijliggend niveau wordt overschreden. Er is dus een kans 0,48 dat een uitgezonden impuls verkeerd (te hoog of te laag) wordt waargenomen. Men zal daarom de niveaus liever wat meer uit elkaar leggen. Wanneer men voor de afstand $\sqrt{6N}$ neemt, wordt deze kans 0,22 en dit wordt in de praktijk als redelijk ondervonden. Men zal dus bij een communicatiesysteem als beschreven de niveaus $\sqrt{6N}$ in spanning doen verschillen. Er is dan slechts een discreet aantal impulshoogten toegestaan, welk aantal bedraagt $\sqrt{E/N + 1} = \sqrt{s + 1}$, als E het gemiddelde signaalvermogen voorstelt, en dus s de signaal-ruisverhouding (in energiemaat).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Dit kan als volgt worden ingezien. Zij de maximale impulsspanning V_{max}. Als het aantal toegelaten equidistante impulshoogten $n+1$ bedraagt, zijn de diverse impulsamplitudes gegeven door kV_{max}/n, waarin k loopt van 0 tot n. Elke impuls vertegenwoordigt een vermogen $\frac{1}{2}\,k^2V_{max}^2/n^2$, en als alle impulshoogten gelijke waarschijnlijkheid bezitten, bedraagt dus het gemiddelde signaalvermogen

$$E = \tfrac{1}{2}\frac{V_{max}^2}{n^2}\,\frac{1^2+2^2+\ldots+n^2}{n+1} \approx \frac{V_{max}^2}{6}.$$

Dus $V_{max} \approx \sqrt{6E}$. Daar de afstand der niveaus $\sqrt{6N}$ is, bedraagt het toegelaten aantal niveaus dus

$$\sqrt{\frac{6E}{6N}} + 1 = \sqrt{\frac{E}{N}} + 1 = \sqrt{s} + 1.$$

Niet alleen de impulshoogten zijn in de praktijk aan banden gelegd, maar ook de impulsfrequentie, dat is het aantal impulsen dat men per seconde kan onderscheiden. Dit komt doordat in elk communicatiekanaal slechts een beperkt frequentiegebied voor de overbrenging beschikbaar is. Zij deze beschikbare bandbreedte f_0; met andere woorden: alleen frequenties tussen een gegeven frequentie f_c en de frequentie $f_c + f_0$ worden doorgelaten. Men kan dan op algemene gronden aantonen dat twee willekeurige signalen ter lengte van τ seconden niet meer van elkaar onderscheidbaar zijn indien zij op meer dan $2f_0\tau$ ogenblikken in amplitude overeenstemmen.

Een periodiek signaal met periode τ kan door een Fourierreeks worden voorgesteld:

$$v(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_1^\infty a_k \cos 2\pi k\frac{t}{\tau} + \sum_1^\infty b_k \sin 2\pi k\frac{t}{\tau}.$$

Als alleen de frequenties tussen 0 en $f_0 = l/\tau$ voorkomen, treden in deze ontwikkeling slechts $2l+1 = 2f_0\tau + 1$ termen op, en wordt $v(t)$ dus door de $2l+1$ gegevens $(a_0, a_1, \ldots a_l, b_1, \ldots, b_l)$ geheel bepaald. Meer gegevens kunnen de signaalvorm niet beter vastleggen. De 1 mag verwaarloosd worden als $2f_0\tau \gg 1$, hetgeen steeds het geval is. Voor een niet-periodiek signaal ter lengte τ gaat de reeks over in een Fourierintegraal, doch de uitkomst dat $v(t)$ door $2f_0$ gegevens per seconde wordt bepaald, blijft geldig. Wat voor het gebied tussen de frequenties 0 en f_0 is besproken, geldt ook voor een willekeurig frequentiegebied tussen f_c en $f_c + f_0$.

Impulsreeksen ter lengte van τ seconden zijn dus geheel bepaald door de amplitude op $2f_0\tau$ ogenblikken. Anders gezegd, de maximale hoeveelheid informatie die bij een bandbreedte van f_0 Hz in een impulsreeks ter lengte van τ seconden kan worden opgezameld, wordt bereikt als in die tijd $2f_0\tau$ impulsen worden uitgezonden. Daar nu, zoals we boven gezien hebben, bij de uitzending van elke impuls keuze kan worden gemaakt uit $\sqrt{s}+1$ discrete impulshoogten, bedraagt het totaal aantal onderscheidbare impulsreeksen ter lengte τ: $(\sqrt{s}+1)^{2f_0\tau}$. In zulk een reeks ter lengte τ is dus maximaal de hoeveelheid informatie

$$I = 2f_0\tau\ {}^2\log(\sqrt{s}+1)\ \text{bits} \quad . \qquad \text{(IV, 15)}$$

vervat. Deze grootst mogelijke hoeveelheid informatie is hetgeen wij reeds vroeger de kanaalcapaciteit hebben genoemd; hier hebben we deze grootheid dus uitgedrukt in de bandbreedte en de signaal-ruisverhouding van het besproken communicatiesysteem.

De bovenstaande afleiding is in grote lijnen afkomstig van Tuller [13]). Shannon [1]) heeft een en ander precies overgerekend. Daarbij komt hij tot het direct vergelijkbare resultaat:

$$I = f_0\tau\ {}^2\log(1+s). \quad . \quad . \quad . \qquad \text{(IV, 16)}$$

Voor sterke signalen is deze uitkomst vrijwel gelijk aan (IV, 15). Het reeds bij de behandeling van het televisiebeeld aangestipte verband tussen efficiëntie van informatieoverbrenging en bandbreedte van het communicatiekanaal is nu duidelijk. Naarmate de redundantie van het over te brengen bericht groter is, wordt de kanaalcapaciteit minder efficiënt benut en is voor het overbrengen van een gegeven hoeveelheid informatie een grotere bandbreedte nodig dan uit formule (IV, 16) volgt.

Informatie en energie

Indien een signaal ons bereikt via een kabel, moeten we, om zoveel mogelijk signaalenergie eruit te halen, de kabel reflectievrij afsluiten. In dat geval wordt, zoals we reeds in het eerste artikel van deze serie hebben opgemerkt, een ruisvermogen $N = kT_af_0$ door de kabel afgegeven in een bandbreedte f_0 bij een kabeltemperatuur T_a. Wanneer het signaalvermogen dat we van de kabel afnemen, S bedraagt, is de maximale hoeveelheid informatie die in een tijd τ kan worden overgebracht, volgens (IV, 16):

$$I = f_0\tau\ {}^2\log\left(1+\frac{S}{kT_af_0}\right). \quad . \qquad \text{(IV, 17)}$$

De hoeveelheid informatie die per tijdseenheid en per eenheid van signaalvermogen beschikbaar komt, is dan:

$$\frac{I}{S\tau} = \frac{f_0}{S}\,{}^2\log\left(1+\frac{S}{kT_af_0}\right). \quad . \qquad \text{(IV, 18)}$$

Beschouwd als functie van de variabele S/f_0, heeft deze functie steeds een negatieve afgeleide. De

[13]) W. G. Tuller, Proc. Inst. Radio Engrs. **37**, 468-478, 1949.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

maximale waarde bereikt ze dus in de limiet van signaalvermogen nul. Door formule (IV, 18) naar S/kT_af_0 te ontwikkelen, krijgt men voor deze maximale beschikbare hoeveelheid informatie per eenheid van vermogen:

$$\left(\frac{I}{S\tau}\right)_{\max} = \frac{1}{kT_a}\,{}^2\log e \quad . \quad (IV, 19)$$

Voor 1 bit informatie per seconde heeft men dus ten minste (nl. bij zeer kleine S/f_0) een energie van $kT_a \ln 2$ nodig. Op deze consequentie van Shannon's berekening heeft Felker [14]) attent gemaakt. Naarmate de bandbreedte kleiner en het signaalvermogen groter is, neemt de per bit op te brengen energie toe.

Hier helpt de communicatietheorie om een oude paradox uit de discussies over de tweede hoofdwet der thermodynamica op te lossen, nl. die van de „demon van Maxwell". Maxwell had de aandacht erop gevestigd dat een wezen dat kon ingrijpen op moleculair niveau, wel eens toestandsveranderingen teweeg zou kunnen brengen die in strijd zijn met de tweede hoofdwet. Beschouw b.v. een met gas gevuld vat waarvan de wanden geen warmte doorlaten. Een dito tussenschot met een kleine doorboring verdeelt het vat in tweeën. De „demon" kan deze doorboring met een klepje afsluiten, en hij maakt hiervan gebruik om slechts snelle moleculen van rechts naar links en langzame van links naar rechts door te laten. Daardoor splitst hij het gas in een heet en een koud gedeelte, en vermindert hij dus de thermodynamisch-statistische entropie van het systeem zonder dat daar enige compensatie tegenover staat. Bridgman en Brillouin hebben erop gewezen, dat deze gedachteconstructie om verschillende redenen onbevredigend is. Vooral de laatstgenoemde heeft er de aandacht op gevestigd dat de demon voor zijn manipulaties informatie omtrent de snelheid der moleculen moet krijgen en dat deze informatie in werkelijkheid meer energie zou kosten dan met de entropiewinst overeenkomt. Immers de demon kan in een ruimte van constante temperatuur niets „zien", en heeft de extra-energie van een „lamp" nodig.

Historisch interessant is, dat Szilard [15]) uit thermodynamische overwegingen reeds in 1929 afleidde, dat 1 bit informatie (hij drukte dit natuurlijk nog niet zo uit) in een systeem van constante temperatuur ten minste een energie $kT \ln 2$ moest kosten, om strijd met de tweede hoofdwet te vermijden. De essentie van Szilard's gedachte-experiment is de volgende. In een door een warmtereservoir op constante temperatuur gehouden vat bevindt zich een enkel molecuul. In het vat bevindt zich een zuiger, met een opening welke door een schuif kan worden afgesloten. Oorspronkelijk staat de zuiger in het midden van het vat. Aan het begin van het experiment sluit de waarnemer de opening en hij kijkt of het molecuul zich rechts of links bevindt. Hij laat de zuiger zich dan langzaam in de andere richting bewegen. Het molecuul vliegt vele malen tegen de zuiger aan en verricht daarbij arbeid op de zuiger. Dit is de arbeid welke correspondeert met de isothermische expansie van een ideaal gas van het volume $\frac{1}{2}V$ tot het volume V, en waarbij een hoeveelheid warmte $kT \ln 2$ aan het reservoir wordt onttrokken (I, pag. 210). Na enige tijd is de eindstand van de zuiger bereikt. De klep wordt nu geopend en de zuiger wordt in de oorspronkelijke positie teruggebracht. Daarna kan het proces worden herhaald. Op het eerste gezicht is het voorgaande in strijd met de tweede hoofdwet. Om toch overeenstemming met de tweede hoofdwet te krijgen, neemt Szilard aan, dat de meting betreffende de plaats van het molecuul, die één bit informatie oplevert (rechts dan wel links, dus twee even waarschijnlijke mogelijkheden), zelf aan energie ten minste een bedrag $kT \ln 2$ kost. De toepassing van begrippen als entropie, temperatuur, isothermische expansie, op dit uit één molecuul bestaande gas, en het ingrijpen op moleculair niveau bij dit gedachte-experiment, kunnen terecht aan kritiek worden onderworpen. Ten dele komt Szilard zelf aan deze kritiek tegemoet, door in de verdere uitwerking van zijn artikel grote ensembles te beschouwen, ten dele zijn door anderen, zoals Raymond, later analoge gedachte-experimenten met veelmoleculige gassen beschreven. De verdienste van Szilard blijft echter, een belangwekkend resultaat te hebben afgeleid, dat op bevredigende wijze overeenstemt met de inzichten van de moderne communicatietheorie.

In dit laatste hoofdstuk zijn we een verband tegengekomen tussen de „entropie" uit de informatietheorie en de thermodynamisch-statistische entropie. Dit verband kwam tot stand toen wij nagingen in hoeverre voor de overbrenging van informatie door een kanaal met ruis energie nodig was. Doordat de ruisintensiteit van de temperatuur afhangt, blijkt ook deze energie van de temperatuur afhankelijk te zijn en is het op zichzelf niet verwonderlijk dat bij deze beschouwingen het entropiebegrip uit de thermodynamica een rol speelt. In feite echter blijkt uit de discussie van de proef van Szilard nogmaals, hoe weinig verantwoord het gebruik van het woord entropie in de communicatie-

[14]) J. H. Felker, Proc. Inst. Radio Engrs. **40**, 728-729, 1952.
[15]) L. Szilard, Z. Phys. **53**, 840-846, 1929.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

leer is. Dit gebruik heeft er toe geleid dat men Szilard's resultaat soms als volgt onder woorden brengt: een hoeveelheid „informatie-entropie" van 1 bit staat gelijk met een hoeveelheid „thermodynamische entropie" van $k \log 2$. Het introduceren van de constante k in de informatieleer, anders dan in energiebeschouwingen, is echter zeer verwarrend. Hoe zou b.v. deze constante kunnen verschijnen in beschouwingen als die over de „entropie" van een taal, waarbij van ruistemperatuur of energie nog geen sprake was? Het zou trouwens in dit geval ook erg moeilijk zijn vast te stellen van welk „systeem" men de thermodynamische entropie zou willen beschouwen.

Zolang alléén de statistische betekenis van het entropiebegrip een rol speelt, is er geen gevaar van verwarring tussen thermodynamica en informatieleer te duchten. De mathematische analogie houdt echter niet in dat de experimentele wetten die voor de entropie in de thermodynamica gelden (tweede hoofdwet), een overeenkomstige fysische betekenis voor de „entropie" in de informatieleer zouden hebben.

Samenvatting. In de nieuwe tak van wetenschap die informatieleer wordt genoemd, en waarvan de communicatietheorie en de cybernetica of stuurkunde de belangrijkste onderdelen zijn, wordt aan het begrip informatie een kwantitatieve inhoud gegeven op grond van statistische beschouwingen. Men komt dan tot een grootheid: informatie-inhoud per symbool, die formeel grote overeenkomst vertoont met de thermodynamisch-statistische entropie, die in de vorige artikelen (I, II, III) van deze reeks is behandeld. Het begrip kan zonder moeite toegepast worden op een willekeurige reeks van gebeurtenissen die elk met een zekere waarschijnlijkheid kunnen optreden, zoals b.v. het voorkomen van de letters in een taal. Men is er zo toe gekomen, van de „entropie" van een taal te spreken, of van de „entropie" van een televisiebeeld.

Een belangrijke toepassing van de informatieleer is het onderzoek naar de efficiëntie van het overbrengen van informatie, b.v. langs elektrische weg. Het blijkt dan dat men, langs wegen die formeel een zekere gelijkenis vertonen met die van de statistische thermodynamica, zeer algemene resultaten kan afleiden betreffende de invloed van ruis en bandbreedte van het communicatiekanaal op de kanaalcapaciteit. Ten slotte wordt besproken welk vermogen op zijn minst vereist is om een hoeveelheid informatie per tijdseenheid over te brengen. Door de invloed van de thermische ruis hangt dit vermogen af van de temperatuur van het communicatiekanaal. De afhankelijkheid van de temperatuur brengt een verbinding met de thermodynamische entropie tot stand, welke verbinding echter op triviale gronden berust. Zij vormt geenszins een rechtvaardiging voor het gangbare gebruik van het woord entropie in de informatieleer. Dit gebruik (of misbruik) kan er toe leiden ten onrechte analogieën tusschen thermodynamica en informatieleer te verwachten die verder gaan dan hun gemeenschappelijke statistische achtergrond.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

EEN MAGNETODYNAMISCHE GROEFTASTER

II. FREQUENTIEKARAKTERISTIEKEN

door N. WITTENBERG.

681.84.081.48:621.395.623

Zoals overal in de geluidsweergavetechniek, is ook bij grammofoonweergave de frequentiekarakteristiek van groot belang. Men kan echter van „de frequentiekarakteristiek van een groeftaster" niet spreken, omdat de wijze waarop de geleverde spanning varieert met de frequentie, niet alleen afhangt van de eigenschappen van de groeftaster zelf, maar in even sterke mate van verschillende eigenschappen van de grammofoonplaat. Daar komt, voor zover het hoge frequenties betreft, nog bij, dat de karakteristiek afhankelijk is van de plaats waar de groeftaster zich op de grammofoonplaat bevindt. Deze en enige andere kwesties worden hier behandeld in verband met de in deel I van dit artikel beschreven magnetodynamische groeftaster.

De nieuwe groeftaster AG 3020/21, werkend volgens het magnetodynamische principe (draaiende magneet, stilstaande spoel), heeft eigenschappen die hem zowel voor professioneel als niet-professioneel gebruik geschikt maken. Zijn constructie vormde onlangs het onderwerp van deel I van dit artikel [1]). Wij willen in het onderhavige artikel nader op verschillende eigenschappen van deze groeftaster ingaan.

De frequentiekarakteristiek

Onder de frequentiekarakteristiek van het systeem, gevormd door een groeftaster en een grammofoonplaat, verstaat men de opgewekte elektrische spanning (effectieve waarde E) als functie van de frequentie f, bij constante topsnelheid $\hat{v}$ van de sinusvormige modulatie. Uit deze karakteristiek volgt, op welke wijze de versterking van de bij de groeftaster behorende versterker met f moet variëren ten einde de luidspreker zo getrouw mogelijk het geluidsdrukverloop te doen nabootsen waaraan bij het opnemen de microfoon was blootgesteld.

De meeste fabrieken van grammofoonplaten houden zich bij het opnemen van langspeelplaten aan de karakteristiek B in *fig. 1*; deze kromme geeft het verband tussen de op de plaat te registreren modulatiesnelheid en de frequentie, bij constante geluidsdruk vóór de microfoon (d.w.z. constante ingangsspanning aan de eerste versterker). Daar de spanning van een magnetodynamische groeftaster evenredig met de naaldsnelheid is, moet de karakteristiek van het weergeefkanaal voor zulk een plaat het reciproke van B zijn, dus de karakteristiek A in fig. 1 [2]).

Beschikt men over een meetplaat [3]) waarop een toon met trapsgewijs dalende frequentie is geregistreerd, met modulatiesnelheden volgens de karakteristiek B [4]), dan kan men de frequentiekarakteristiek van een groeftaster in combinatie met deze plaat opnemen door bij ieder van de geregistreerde, bekende, toonhoogten de spanning te meten.

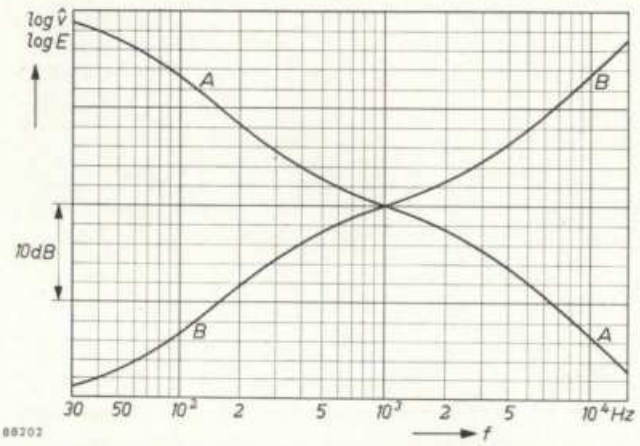


Fig. 1. A frequentiekarakteristiek van een veelal als standaard aangenomen weergeefkanaal voor grammofoonplaten. B kromme die het reciproke van A is en volgens welke de modulatiesnelheid van grammofoonplaten als functie van de frequentie f moet verlopen.

Redenen waarom het spectrum tot zeer hoge frequenties moet doorlopen

Bij de constructie van de magnetodynamische groeftaster is ernaar gestreefd, het frequentiegebied dat hij kan weergeven, tot zo hoog mogelijke waarden te doen doorlopen. Men zal zich wellicht af-

[1]) N. Wittenberg, Een magnetodynamische groeftaster, I. Constructie, Philips techn. T. **18**, 113-122, 1956 (no. 4).

[2]) A is een van de zg. fononormen: zie Philips techn. T. **17**, 36-37, 1955 (no. 2), of G. Slot, Van microfoon tot oor, Philips' techn. Bibliotheek, populaire serie, 1955, blz. 48.

[3]) Een meetplaat is een voor meetdoeleinden bestemde grammofoonplaat, waarop b.v. een toon met continu of trapsgewijs dalende frequentie en met bekende modulatiesnelheid is geregistreerd.

[4]) Hieraan voldoet nagenoeg de meetplaat Decca LXT 2695.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

vragen, waarom het zin heeft te trachten frequenties boven 15 kHz weer te geven; immers, het gehoor van de meeste niet meer zeer jonge personen is niet in staat, tonen met deze frequenties waar te nemen, en bovendien zijn deze hoge frequenties op de gemiddelde grammofoonplaat niet of ternauwernood vertegenwoordigd. Het antwoord op de vraag vindt men in het volgende.

Wij willen beginnen met enige kwesties in herinnering te brengen die in een vorig artikel [5]) in dit tijdschrift zijn behandeld. Daarin werd aangetoond dat het frequentiespectrum van de uitgangsspanning van een groeftaster aan de bovenzijde wordt begrensd door één van twee mechanische verschijnselen. Het ene hangt samen met het feit dat de naaldpunt elastische indrukkingen in de beide groefwanden maakt, en wel een diepere in de bolle groefwand. Het gevolg is dat (afgezien van andere effecten) de amplitude van de naaldpunt kleiner is dan de amplitude van de groef, met andere woorden: dat er een statisch aftastingsverlies optreedt. Dit verlies is groter naarmate de op de plaat geregistreerde golflengte λ kleiner is; bij een bepaalde golflengte, de afsnijgolflengte λ_{co}, wordt het zelfs zo groot dat de uitgangsspanning nul wordt. Het andere verschijnsel dat een bovenste grens aan het frequentiespectrum kan stellen, is een resonantie. Dit kan zijn òf een resonantie van het groeftastersysteem zelf [6]), òf de in het genoemde artikel [5]) behandelde groef-naaldresonantie (resonantie van de stijfheid van de groefwand met de effectieve massa aan de naaldpunt). Bij vele groeftastersystemen wordt het frequentiespectrum begrensd door één van de systeemresonanties, maar bij de magnetodynamische groeftaster treden deze pas op bij frequenties die hoger zijn dan de groef-naaldresonantie; hier is het dus deze laatste die aan het spectrum een bovenste grens stelt. Het effect van deze begrenzende resonantie is in het artikel [5]) aangeduid als dynamisch aftastingsverlies.

Ter beantwoording van de vraag waarom het zin heeft, frequenties boven 15 kHz weer te geven, onderstellen we dat het een resonantiefrequentie f_{res} is die de bovengrens van het spectrum vormt, dus dat daar het statische aftastingsverlies nog niet overheerst. Valt f_{res} binnen het hoorbare gebied, dan heeft dit tot gevolg dat de weergave „gekleurd" wordt, d.w.z. dat men in de weergave voortdurend min of meer een toon met de resonantiefrequentie hoort doorklinken — des te sterker naarmate de demping kleiner is. Dit komt in de eerste plaats doordat tonen van deze frequentie relatief te sterk worden doorgegeven (opslingering), en verder, in niet mindere mate, door het telkens uitslingeren na ieder aanstoten. Deze „kleuring" geldt niet alleen voor muziek en spraak, maar ook voor de altijd in de plaat aanwezige, zij het ook zwakke, ruis. Bij gevolg zal de ruis die men bij de weergave hoort, niet in sterkte, maar wel *in hinderlijkheid afnemen naarmate de begrenzende resonantiefrequentie hoger is gelegd.*

Een tweede argument om f_{res} tot boven het hoorbare gebied op te voeren, is dat in de buurt van f_{res} sterke fazeverschuivingen optreden. Deze hebben invloed op de weergave van een plotselinge inzet, zoals in de muziek herhaaldelijk voorkomt; fazeverschuivingen doen deze „inschakelverschijnselen" bij de weergave grotendeels verloren gaan.

Met de breedte van het spectrum neemt toe de mate waarin men, bij de weergave, gelijktijdig spelende instrumenten los van elkaar waarneemt. Dit effect is enigszins analoog met het duidelijker worden van de indruk die men van de werkelijkheid krijgt wanneer men achtereenvolgens reprodukties van een foto bekijkt waarvan de clichés een toenemende fijnte van raster vertonen. Dit is dus een derde reden waarom f_{res} bij voorkeur boven het hoorbare gebied moet liggen.

Maar ook al ligt de laagste resonantiefrequentie bij b.v. 20 kHz, dan is dit nog geen garantie dat de aftasting bij de zeer hoge frequenties — gesteld dat zij op de plaat aanwezig zijn — getrouw plaatsvindt. Het statische aftastingsverlies namelijk heeft tot gevolg, dat de weergave bij toenemende frequentie geleidelijk afneemt en onherroepelijk nul wordt vanaf de frequentie f_{co} die correspondeert met de afsnijgolflengte λ_{co}. De frequentie f hangt in het algemeen met de golflengte λ samen volgens de formule $f = V_g/\lambda$. Hierin is V_g de snelheid waarmee de groef onder de naald door loopt; V_g is evenredig met de middellijn van de groef. f_{co} neemt dus geleidelijk af naarmate de groeftaster zich van buiten naar binnen over de plaat beweegt. Komt f_{co} beneden de resonantiefrequentie die tevoren het frequentiespectrum aan de bovenzijde begrensde, dan is het van dat ogenblik af f_{co} die dit doet.

Wij willen nu aan de hand van metingen deze verschijnselen bij onze groeftaster onderzoeken.

Metingen aan de magnetodynamische groeftaster bij hoge geluidsfrequenties

Fig. 2 geeft de geregistreerde frequentiekarakteristiek van de groeftaster AG 3020, gemeten met

---

[5]) J. B. S. M. Kerstens, Mechanische verschijnselen bij de hogetonenweergave van groeftasters, Philips techn. T. **18**, 95-103, 1956 (no. 3).

[6]) Zie deel I [1]) van dit artikel, blz. 117, waar onder „*De naaldarm en de naald*" de laterale resonantie en de torsieresonantie zijn besproken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

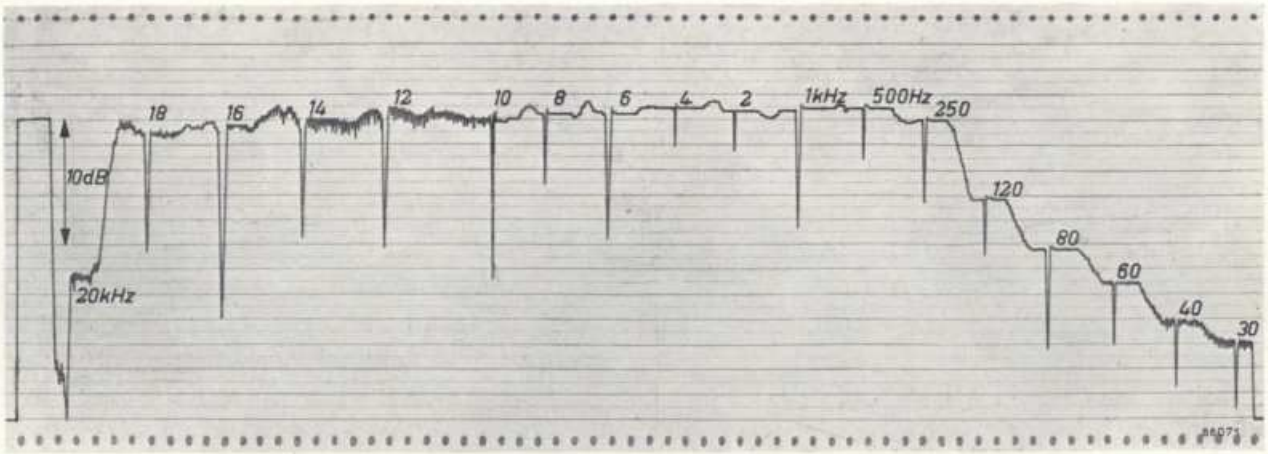


Fig. 2. Registrogram van de spanning (op logaritmische schaal) van een onbelaste groeftaster AG 3020 bij verschillende frequenties f, opgenomen met de meetplaten DGG 68 421 en DGG 68 439 [7]) van schellak. De golflengte op deze platen is overal groter dan de afsnijgolflengte. De verticale kracht F_v was 0,1 N.
Geheel links: bij 1000 Hz opgenomen referentieniveau. De eigenlijke meetserie begint met $f = 20$ kHz; deze frequentie is, volgens opgave van de fabrikant, geregistreerd met 11 dB te kleine modulatiesnelheid. De benedenwaarts gerichte pieken zijn frequentiemarkeringen; alleen onmiddellijk rechts van iedere piek hebben de frequentie en de modulatiesnelheid enige tijd de juiste waarde. De modulatiesnelheid is constant van 18 kHz tot 250 Hz en neemt bij lagere frequenties af.

behulp van twee meetplaten [7]) waarop in afzonderlijke „bandjes" de frequenties 20, 18, 16, ... kHz geregistreerd staan met zodanige golflengten dat er geen merkbaar aftastingsverlies is, en met constante modulatiesnelheid (behalve bij 20 kHz, bij welke frequentie volgens opgave van de fabrikant de modulatiesnelheid 11 dB te klein was; in overeenstemming daarmee vonden wij bij 20 kHz ook een ca. 11 dB te lage spanning). Men ziet dat er beneden 20 kHz geen enkele begrenzende resonantie voorkomt; wat betreft de groef-naaldresonantie, is dit mede te danken aan de grote elasticiteitsmodulus van het schellakmateriaal waaruit de hier gebruikte meetplaten bestaan.

Met een groeftaster AG 3021 — d.i. hetzelfde systeem op de naald na — kunnen wij nu een andere meetplaat aftasten waarop eveneens de frequenties van 20 kHz en lager geregistreerd zijn, echter met kleinere golflengten [8]). In *fig. 3* is de kromme *a* de door de fabrikant opgegeven, langs optische weg bepaalde, modulatiesnelheid $\hat{v}$ als functie van de frequentie; voor de frequenties van 20 tot 8 kHz is in de figuur ook de golflengte λ van elk dezer zeven bandjes aangegeven. Bij een ideale groeftaster zou de uitgangsspanning hetzelfde verloop als de karakteristiek *a* hebben. Wij vinden echter de karakteristiek *b*: er blijkt bij ca. 18 kHz een schijnbaar onbetekenende resonantie op te treden, die de karakteristiek daar enkele dB doet stijgen, terwijl boven deze frequentie de spanning snel daalt. Het verschil tussen *b* en *a* mag evenwel niet geheel aan resonantie worden toegeschreven, daar er ook een zekere mate van statisch aftastingsverlies in het spel kan zijn. Om dit laatste te scheiden van resonantie-effecten (dynamisch aftastingsverlies), passen wij de volgende kunstgreep toe.

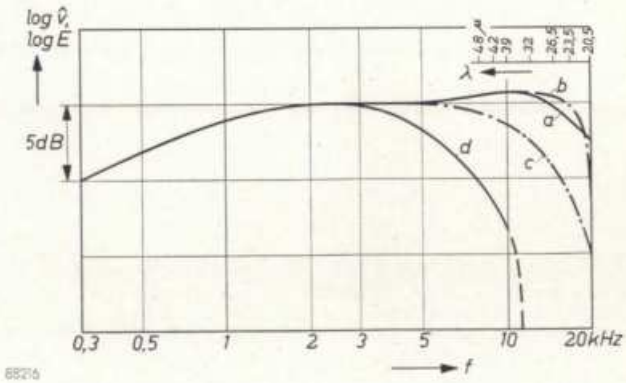


Fig. 3. *a*) Modulatiesnelheid $\hat{v}$ als functie van de frequente f, voor de meetplaat Cook 10A [8]) van kunsthars, volgens opgave van de fabrikant. *b*) Met deze plaat bij 33⅓ omw/min gemeten spanning E van een onbelaste groeftaster AG 3021; boven rechts: golflengteschaal. *c*) E als functie van λ, opgenomen met dezelfde plaat bij 10 omw/min en gecorrigeerd voor dit te lage toerental. Het golflengtegebied $\lambda = 20{,}5$-48 μ bevindt zich in groeven met middellijn $D = 24$-22 cm. *d*) Geconstrueerde karakteristiek E als functie van f voor de binnenste groef ($D = 12{,}5$ cm). De krommen *b*, *c* en *d* gelden voor $F_v = 0{,}1$ N.

[7]) Deutsche Grammophon-Gesellschaft nos. 68 421 en 68 439 (schellakplaten, 30 cm diameter, 78 omw/min, die samen het frequentiegebied van 20 kHz tot 30 Hz bestrijken).

[8]) Meetplaat Cook 10A (fabrikaat Cook Laboratories), een kunstharsplaat met microgroef, 25 cm diameter, 33⅓ omw/min.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Betrokken op de λ-schaal, geeft b de gemeten spanning als functie van λ weer. Ter eliminatie van resonantieverschijnselen combineren wij nu dezelfde golflengten met lagere frequenties, waarbij geen resonantie optreedt, door de plaat langzamer te laten draaien. Kiezen wij de omwentelingssnelheid b.v. 10 omw/min (in plaats van $33\frac{1}{3}$ omw/min, welke snelheid bij het opnemen van b werd gebruikt), dan wordt de hoogste frequentie 6 kHz; het verloop van b maakt het alleszins aannemelijk dat beneden 6 kHz geen resonanties optreden.

De bij 10 omw/min gemeten spanning als functie van de golflengte (niet als functie van de frequentie!) is weergegeven in de kromme c, welke gecorrigeerd is voor het feit dat wegens het lagere toerental de gemeten spanningen voor alle frequenties een zelfde factor te laag waren. c geeft dus als functie van λ de optredende naaldpuntsnelheden bij modulatiesnelheden volgens a en bij afwezigheid van resonanties. Derhalve is het verschil tussen a en c het statische aftastingsverlies. Onder de omstandigheden van de meting (afrondingsstraal van de diamanten naaldpunt 25 μ, verticale naaldkracht $F_v = 0{,}1$ N, plaatmateriaal kunsthars) wordt dit verlies merkbaar bij golflengten kleiner dan ca. 50 μ.

In *fig. 4* (getrokken kromme) is het statische aftastingsverlies als functie van λ uitgezet. Verg. (10) van het in [5]) aangehaalde artikel bracht deze functie als volgt in formule:

$$\hat{y}_s = \hat{y}\left\{1 - \left(\frac{\lambda_{co}}{\lambda}\right)^2\right\}.$$

Hierin is $\hat{y}_s$ de amplitude van de naaldpunt bij afwezigheid van resonantie, en $\hat{y}$ en λ zijn de op de grammofoonplaat geregistreerde amplitude resp. golflengte. Door substitutie van verschillende waarden van λ en van de volgens fig. 4 daarbij behorende waarden van $\hat{y}_s/\hat{y}$ kunnen we λ_{co} bepalen, de golflengte dus waarbij de snelheid van de naaldpunt nul is en de groeftaster derhalve geen spanning meer afgeeft. We vinden aldus: $\lambda_{co} = 16$ μ.

Verg. (11) van het artikel [5]) legt voor bepaalde omstandigheden (afrondingsstraal naaldpunt 25 μ, $F_v = 0{,}1$ N, plaatmateriaal kunsthars met elasticiteitsmodulus $3{,}3 \times 10^9$ N/m^2) het volgende verband tussen de afsnijfrequentie f_{co} en de groefsnelheid V_g in m/s vast:

$$f_{co} = 55\,000\ V_g \text{ Hz},$$

dus $\lambda_{co} = V_g/f_{co} = (1/55\,000)$ m $= 18$ μ. Gezien de onnauwkeurigheid bij de beschreven metingen en het feit dat van extrapolatie gebruik is gemaakt, alsmede de onzekerheid in de waarde van de elasticiteitsmodulus, die vrij sterk van de temperatuur afhangt, is de overeenstemming tussen theorie (18 μ) en praktijk (16 μ) bevredigend.

Verg (17) van het artikel [5]) zegt dat λ_{co} evenredig is met de derdemachtswortel uit de verticale naaldkracht F_v. Deze betrekking kunnen we verifiëren door de metingen te herhalen met een andere waarde van F_v, b.v. 0,16 N. We verwachten dan als afsnijgolflengte $(0{,}16/0{,}10)^{\frac{1}{3}}$ maal 16 resp. 18 μ, d.i. 19 resp. 21 μ. Uit de gestippelde kromme in fig. 4, die geldt voor $F_v = 0{,}16$ N, leiden we af: $\lambda_{co} = 22$ μ; ook hier dus een vrij bevredigende overeenstemming.

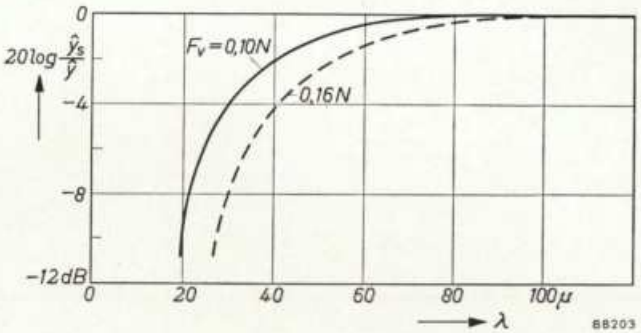


Fig. 4. Het uit a en c in fig. 3 afgeleide statische aftastingsverlies 20 log $\hat{y}_s/\hat{y}$ als functie van λ, voor verticale krachten $F_v = 0{,}10$ en 0,16 N. Bij toeneming van F_v wordt de afsnijgolflengte groter.

Keren we terug naar fig. 3 en vergelijken we de krommen b en c. Het verschil tussen deze is het dynamische aftastingsverlies, dat ontstaat door een resonantieverschijnsel bij ca. 18 kHz (daar is het verschil tussen b en c het grootst). Dat wij hier inderdaad te doen hebben met de groef-naaldresonantie (stijfheid van de groefwand en effectieve massa aan de naaldpunt), kan als volgt aannemelijk worden gemaakt.

Voor de resonantiefrequentie f_{res} van een gedempte trilling geldt:

$$f_{res} = f_0\sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}}, \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

waarin f_0 de eigen frequentie van het systeem is en Q de kwaliteitsfactor (opslingering). f_0 is met goede benadering gegeven door $2\pi f_0 \approx \sqrt{S/m}$; voor de stijfheid S van de groefwand geldt volgens verg. (15) van het artikel [5]):

$$S = \frac{3}{2}\frac{F_v}{a_0\sqrt{2}}.$$

Met $F_v = 0{,}1$ N en a_0 (indrukkingsdiepte in de ongemoduleerde groefwand) $= 2 \times 10^{-6}$ m vinden we: $S = 53\,000$ N/m, en met $m = 3 \times 10^{-6}$ kg wordt $f_0 = 21{,}2$ kHz. Uit fig. 3 lezen we af voor het grootste verschil tussen b en c: 6 dB, waarmee

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

correspondeert: $Q = 2$. Deze waarden van f_0 en Q, gesubstitueerd in (1), leveren: $f_{res} = 19{,}8$ kHz, wat dicht genoeg bij de geconstateerde resonantie bij 18 kHz ligt om waarschijnlijk te maken dat we hier met de groef-naaldresonantie te doen hebben.

We zien uit fig. 3 dat het resonantie-effect sterker is dan men abusievelijk uit de krommen *a* en *b* zou concluderen, en dat het in een groot frequentiegebied het statische aftastingsverlies compenseert. De vraag zou kunnen rijzen of het rechte verloop van de karakteristiek in fig. 2 niet eveneens te danken zou kunnen zijn aan zulk een compensatie. Dit blijkt echter niet het geval te zijn; laten we de schellakplaat waarmee deze karakteristiek is opgenomen, langzamer draaien, dan vinden we dezelfde lijn als bij de normale draaisnelheid (78 omw/min). De kleinste golflengte op deze plaat, bij 20 kHz (welke frequentie geregistreerd staat op een groef met ca. 30 cm diameter), is 60 μ. Volgens fig. 4, die voor een kunstharsplaat geldt, treedt bij deze golflengte slechts een verlies op dat kleiner is dan 1 dB, dus zal bij $\lambda = 60$ μ op de minder elastische schellakplaat zeker geen merkbaar statisch aftastingsverlies kunnen optreden. Uit de rechtheid van de karakteristiek mogen we dus voor dat systeem besluiten tot het afwezig zijn van resonanties beneden 20 kHz.

Bij vergelijking van de krommen *a* en *b* in fig. 3 zal men zich misschien afvragen wat in de praktijk de betekenis van het statische aftastingsverlies is. Het wordt immers toch grotendeels gecompenseerd door het dynamische aftastingsverlies (groef-naaldresonantie), dat bepaald wordt door het plaatmateriaal, de afrondingsstraal van de naald, de verticale kracht F_v en de effectieve massa — door factoren dus die voor een gegeven grammofoon en plaattype steeds dezelfde zijn. Bovendien zou onvolledige of overmatige compensatie gemakkelijk kunnen worden gecorrigeerd in de versterker. Men dient echter te bedenken dat het statische aftastingsverlies direct een functie van de golflengte is en slechts indirect, via de relatie $\lambda = V_g/f$, een functie van de frequentie. Bij welke frequentie een gegeven combinatie plaat-groeftaster een bepaald statisch aftastingsverlies zal vertonen, hangt derhalve af van de groefsnelheid V_g, dus van de diameter van de groef.

Het frequentiegebied van 20 tot 10 kHz staat op de plaat die voor metingen van fig. 3 werd gebruikt, geregistreerd in groeven met een middellijn van 24 tot 22 cm; karakteristiek *b* in fig. 3 geldt dus alleen voor dit gedeelte van de plaat. In verder buitenwaarts gelegen groeven behoren bij dezelfde golflengten hogere frequenties; daar heeft men dus een relatief sterkere weergave van de hoge frequenties, en bij meer binnenwaarts gelegen groeven een zwakkere. De karakteristiek voor de binnenste groeven zou men kunnen meten met behulp van een meetplaat waarop golflengten van 20 tot 50 μ voorkomen in groeven van kleine diameter. Over zulk een plaat beschikken wij niet, maar wij kunnen de gezochte karakteristiek gemakkelijk uit de krommen *a* en *c* construeren, door in rekening te brengen dat de frequentie waarbij een statisch aftastingsverlies van bepaalde grootte optreedt, evenredig met de groefdiameter is. Zo is in fig. 3 de karakteristiek *d* geconstrueerd, die geldt voor de binnenste groef van een langspeelplaat (groefdiameter 12,5 cm). De afsnijfrequentie, die bij kromme *b* 23-26 kHz is ($\lambda_{co} = 18$ resp. 16 μ), is voor kromme *d* nog slechts 12-13,5 kHz. Deze frequentie ligt beneden de resonantiefrequentie, zodat in de binnenste groeven boven 12-13,5 kHz geen compensatie door opslingering (negatief dynamisch aftastingsverlies) kan optreden.

Uit het voorgaande zal wel duidelijk zijn geworden dat het verstrekken van een frequentiekarakteristiek bij een groeftaster geen zin heeft indien men niet erbij vermeldt welke meetplaat voor het opnemen ervan werd gebruikt en bij welke verticale kracht F_v de meting werd gedaan. Maar ook dan geeft de karakteristiek niet meer dan een globale indruk van het resultaat dat men bij het spelen van een normale plaat mag verwachten; het statische aftastingsverlies is immers afhankelijk van de groefsnelheid, dus van de plaats waar de groeftaster zich op de plaat bevindt. Uit fig. 3 blijkt dat dit effect al bij 3 kHz merkbaar wordt.

Weergave bij zeer lage frequenties

In het voorgaande werd uitsluitend aandacht besteed aan het hoge register. Nu willen wij nog een enkel woord zeggen over de weergave bij zeer lage frequenties. In tegenstelling met de elektrodynamische groeftaster, kan de magnetodynamische zonder bezwaar voorzien worden van spoelen met vele windingen. Daardoor is een ingangstransformator — onmisbaar bij de elektrodynamische groeftaster — hier overbodig. Als men een goede weergave van de lage tonen wenst, is deze transformator een kostbaar attribuut, daar zijn primaire spoel dan een grote zelfinductie moet hebben. Dat er bij de magnetodynamische groeftaster niets is dat het frequentiespectrum aan de zijde van de lage frequenties begrenst, is natuurlijk gunstig voor de weergave van de laagste muzikale tonen, maar het opent tegelijk de weg voor zeer lage, ongewenste, frequenties. Trillingen van zeer lage frequenties ontstaan door schokken of dreunen, hetzij van de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

grammofoon, hetzij — en dan zijn zij op de plaat meegeregistreerd — van de opneemapparatuur. Hoewel deze frequenties veelal beneden de hoorbaarheidsgrens liggen (in de buurt van 10 Hz b.v.), kunnen zij zeer storend zijn, doordat de stoorspanning een groot deel der roosterruimte van de eindtrap in beslag kan nemen en de versterker in dit geval dus al door een zwak signaal, indien de stoorspanning gelijktijdig aanwezig is, overbelast wordt. Dit bezwaar is te voorkomen door geschikte dimensionering van de versterker; hier nader op in te gaan, zou echter buiten het kader van dit artikel vallen.

Invloed van de elektrische belasting op de frequentiekarakteristiek

Bij het opnemen van de karakteristieken die in het voorgaande ter sprake zijn gekomen, was de groeftaster steeds nagenoeg onbelast. In het normale gebruik echter is hij wèl belast, niet alleen met de ingangsweerstand van de versterker, maar ook met een capaciteit (gemiddeld ca. 250 pF), die in hoofdzaak bestaat uit de capaciteit van de verbindingskabel tussen groeftaster en versterker. Daar de inwendige impedantie van de groeftaster deels wordt gevormd door een zelfinductie (0,6 H), ontstaat een trillingskring, waarvan de resonantie in de buurt van 13 kHz optreedt (dus binnen het hoorbare gebied) en derhalve ongewenst is. Door een juiste keuze van de belastingsweerstand echter kan deze resonantie zodanig gedempt worden dat er geen of nagenoeg geen opslingering optreedt. In *fig. 5* zijn

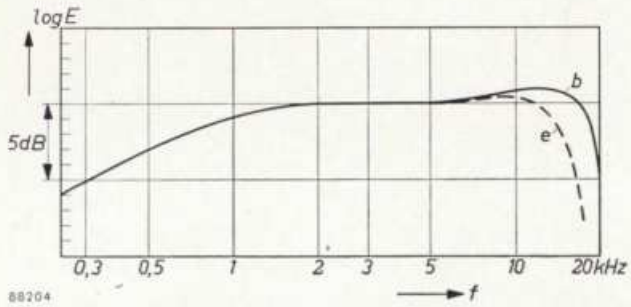


Fig. 5. Invloed van de elektrische belasting op de frequentiekarakteristiek. De karakteristiek *b* is opgenomen aan een (nagenoeg) onbelaste groeftaster AG 3021, *e* bij belasting met een weerstand van 68 kΩ parallel met 250 pF, en overigens onder dezelfde omstandigheden. *b* is gelijk aan de kromme *b* in fig. 3.

twee frequentiekarakteristieken weergegeven, ten eerste de kromme *b* uit fig. 3, opgenomen met een parallelcapaciteit van enkele tientallen pF en een belastingsweerstand van 0,5 MΩ, en de met dezelfde meetplaat opgenomen karakteristiek *e* met een parallelcapaciteit van 250 pF en een belastingsweerstand van 68 kΩ. Pas bij frequenties boven 14 kHz wordt het verschil tussen de beide krommen groter dan 2 dB. Bij de meeste grammofoonplaten is dit bijna niet hoorbaar; daarom wordt voor de afsluitweerstand de waarde 68 kΩ aanbevolen.

Niet-lineaire effecten

Bij kleine golflengten — dus hoge frequenties op kleine groefdiameters — worden effecten merkbaar waarmee de in het artikel [5]) ontwikkelde theorie ter wille van de overzichtelijkheid geen rekening houdt. Zo zal bij kleine golflengten een sterke niet-lineaire aftastingsvervorming optreden [9]), b.v. doordat een sinusvormige groef in de toppen zo sterk is gekromd dat de naaldpunt daar niet meer in de groef past. Dit doet vooral derde harmonischen ontstaan. Ook al vallen de frequenties van deze harmonischen boven de afsnijfrequentie, dan kunnen zij toch gereproduceerd worden, daar statisch aftastingsverlies uiteraard alleen optreedt voor hetgeen op de plaat geregistreerd staat, en niet voor een bij het aftasten ontstaande vervorming. Daar dit effect een gedeeltelijke compensatie kan vormen voor het door statisch aftastingsverlies verloren gaan van harmonischen die op de plaat geregistreerd staan, kan het de indruk wekken van een betere weergave in het hoge register. Deze verschijnselen zijn echter nog zo weinig onderzocht dat er hier niet dieper op kan worden ingaan.

[9]) J. A. Pierce en F. V. Hunt, On distorsion of sound reproduction from phonograph records, J. Acoust. Soc. Amer. **10**, 14-28, 1938-'39; W. D. Lewis en F. V. Hunt, A theory of tracing in sound reproduction from phonograph records, ibidem **12**, 348-365, 1940-'41.

Samenvatting. In deel I van dit artikel werd de constructie van de magnetodynamische groeftaster AG 3020/21 behandeld. In het onderhavige deel II voert de auteur een aantal argumenten aan voor de gerealiseerde uitbreiding van het weergegeven geluidsspectrum tot boven 15 kHz. Bij het bespreken van de frequentiekarakteristiek in het hoge register wordt melding gemaakt van een methode om het statische en het dynamische aftastingsverlies (een golflengte- resp. frequentie-effect) van elkaar te scheiden. Het statische aftastingsverlies vertoont bij een kunstharsplaat een afsnijfrequentie van ca. 24 kHz bij een groefdiameter van 24 cm, en van ca. 12 kHz bij de binnenste groef, terwijl het dynamische aftastingsverlies blijkt samen te hangen met een groef-naaldresonantie bij ca. 18 kHz. Verder komen nog ter sprake de weergave bij zeer lage frequenties, de invloed van de elektrische belasting van de groeftaster, en niet-lineaire effecten.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLIKATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publikaties, voor zover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven, op aanvrage overdrukken.

2293: L. R. Bourgonjon: Circuits for frequency generators (T. Ned. Radiogenootschap **20**, 175-181, 1955, no. 3).

Hoe hoger de draaggolffrequentie van een zender, des te geringer is de procentuele afwijking die toelaatbaar is en des te hoger zijn dus de eisen die men stelt aan de stabiliteit van de frequentie. Het is bovendien dikwijls gewenst deze stabiele frequentie continu of in bepaalde stappen te kunnen instellen. Er wordt een overzicht gegeven van twee methodes om een dergelijke stabiele, instelbare frequentie te realiseren: bij de ene past men een mengtrap toe, bij de tweede een regelsysteem met fazediscriminator. Een besparing aan kristallen kan bij beide methodes worden verkregen door een met impulsen gesynchroniseerde oscillator (I.G.O., zie Philips techn. T. **13**, 353-364, 1951) te gebruiken. Er wordt een voorbeeld gegeven van een blokschema voor een zend-ontvangtoestel voor verscheidene frequentiekanalen in het frequentiegebied van 100-156 MHz.

2294: H. C. Bennebroek Evertsz: Radio link operating in 4000 Mc/s band, for television and multi-channel telephony (T. Ned. Radiogenootschap **20**, 183-193, 1955, no. 3).

Bespreking van nieuw ontwikkelde apparatuur voor radiorelayering in het frequentiegebied van 3800 tot 4200 MHz. Deze apparatuur bevat relaisposten waarin het hoogfrequente signaal wordt geconverteerd tot een middenfrequentie, dan versterkt en vervolgens weer geconverteerd tot de oorspronkelijke frequentie. Er wordt gebruik gemaakt van triodes EC 56 waarmee men dergelijke hoge frequenties kan mengen en versterken.

2295: W. L. Vervest: Automatic tuning of transmitters (T. Ned. Radiogenootschap **20**, 195-206, 1955, no. 3).

Gedetailleerde beschrijving van de Philips automatische precisieafstemknop. Deze dient om een afstemelement door een motortje automatisch in te stellen op één van 12 van te voren gekozen posities. Een speciale koppeling maakt de aangedreven as los van de aandrijvende as zodra de gekozen positie is bereikt. De uitvoering is zodanig dat de afwijking van de gekozen positie minder is dan 0,01°. Voor kleine zenders, b.v. vliegtuigzenders, duurt het overgaan van de ene tot de andere frequentie 1 tot 3 sec, voor grotere zenders (b.v. omroepzenders) zijn 2 tot 10 sec nodig.

Met de hand kan men ook op tussenliggende posities instellen.

2296: P. W. L. van Iterson en H. A. Teunissen: General outline of the development of transmitters for television and frequency modulation (T. Ned. Radiogenootschap **20**, 207-222, 1955, no. 3).

Overzicht van een reeks TV- en FM-zenders voor verschillende frequenties en vermogens, alsmede van de bijbehorende hulp- en meetapparaten, die de laatste jaren bij Philips' Telecommunicatie Industrie te Hilversum zijn ontwikkeld. De constructie en de eigenschappen van deze zendinstallaties, die voornamelijk gebruikt zullen worden voor het TV- en FM-plan in Nederland, worden in detail besproken. Door het toepassen van een speciale FM-modulatorschakeling, van tetrodes voor grote vermogens en van eenheidsbouwstenen, zijn eenvoudige en moderne installaties verkregen, die aan hoge technische eisen voldoen. Er wordt een FM-zender beschreven, die zonder toezicht kan werken en die bij storing automatisch overschakelt op reserve-apparatuur.

2297: H. O. Huisman, R. van der Veen en J. Meltzer: A new acaricide, 2,4,5,4′-tetrachlorodiphenylsulphone (Nature **176**, 515-516, 10 september 1955).

Beschrijving van de acaricide werking (verdelgende werking op spinachtigen) van 2,4,5,4′-tetrachloordifenylsulfon. Deze stof blijkt sterk te werken op eieren en jonge larven van een aantal schadelijke mijtensoorten. Volwassen dieren zijn niet gevoelig. Eieren gelegd door behandelde wijfjes komen echter niet uit. De werking is zeer selectief, uitsluitend mijten zijn er gevoelig voor. Op geen enkel insect werd werkzaamheid geconstateerd. De stof is geheel onschadelijk voor zoogdieren.

2298: K. Groendijk en K. S. Knol: Characterization of the noise of tubes and transistors by four measurable quantities (T. Ned. Radiogenootschap **20**, 243-256, 1955, no. 3).

De ruis van een geneutrodyniseerde triode wordt berekend op twee verschillende manieren. Bij de eerste manier wordt uitgegaan van de mechanismen die de ruis veroorzaken, bij de tweede wordt de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

triode opgevat als lineaire vierpool. Het blijkt dat de fysische grootheden die men bij de berekening volgens de eerste manier dient te kennen, niet gemakkelijk te bepalen zijn. Uit de beschouwing van lineaire vierpolen volgt echter dat het mogelijk is de ruis te karakteriseren met vier voor meting toegankelijke ruisparameters. Kent men deze parameters, dan kan men de ruisfactor berekenen. Dit geldt trouwens voor iedere lineaire vierpool: triodes, pentodes, transistors enz. Er bestaat in het algemeen geen eenvoudig verband tussen de ruisparameters en de fysische oorzaken van de ruis. In het geval van een triode hangen de vier ruisparameters op eenvoudige wijze af van de frequentie. Zie ook no. **R 277** van deze overzichten.

2299: J. A. Lely: Darstellung von Einkristallen von Siliciumcarbid und Beherrschung von Art und Menge der eingebauten Verunreinigungen (Ber. Deutsch. Keram. Gesellsch. **32**, 229-231, 1955, no. 8).

Zie deze overzichten no. **2267**.

2300: A. C. van Dorsten en J. H. Spaa: Een hoogspanningsgenerator in druktank voor neutronenproduktie (Ned. T. Natuurk. **21**, 213-218, 1955, no. 9).

Korte beschrijving van een installatie voor het opwekken van een flux van 10^{10} snelle neutronen per seconde door een trefplaat van zwaar ijs te beschieten met deutonen. Van deze installatie werd reeds melding gemaakt in Philips techn. T. **17**, 159-161, 1955 (no. 5).

2301: B. Combée, J. Houtman en A. Recourt: A sealed-off X-ray tube for contact-microradiography (Brit. J. Radiol. **28**, 537-542, oktober 1955).

Beschrijving van een nieuwe röntgenbuis voor contactmicroradiografie (zie Philips techn. T. **17**, 189-190, 1955, no. 6). Bovendien worden berekeningen en meetresultaten gegeven betreffende de eigenschappen van fotografische emulsies in het interesserende gebied van golflengten (2-12 Å). Het blijkt dat bij toepassing voor microradiografie betere resultaten kunnen worden verwacht indien, bij behoud van hetzelfde aantal voor licht gevoelige korrels per oppervlakte-eenheid, de dikte van de emulsie kleiner zou worden, zodat dus de concentratie der korrels zou toenemen. Ook is een homogener verdeling van de korrels gewenst.

2302: M. Gevers: Measurement of dielectric and magnetic properties of solids at microwave frequencies (Proc. Symp. precis. electr. measur., gehouden in het Nat. Phys. Lab. te Teddington in november 1954, 3de voordracht, 15 blz.).

Bespreking van twee der methodes die in het Natuurkundig Laboratorium te Eindhoven worden toegepast voor het meten van de diëlektrische en magnetische eigenschappen van homogene, isotrope materialen bij cm-golven. Bij een golflengte van 10 cm wordt gebruik gemaakt van een resonantiemethode, bij 3 cm golflengte van een methode met staande golven. Er wordt speciale aandacht besteed aan de mogelijke bronnen van fouten en aan de nauwkeurigheid van metingen aan materialen waarbij de te meten verliezen zeer klein zijn.

2303: J. W. L. Köhler: Machines frigorifiques à gaz froid (Annexe 1955-2, Suppl. Bull. Inst. Int. Froid, blz. 13-23).

De inhoud van dit artikel komt grotendeels overeen met die van de artikelen over de koudgaskoelmachine in Philips techn. T. **16**, 33-44 en 61-71, 1954. Hier is speciaal aandacht gewijd aan de rol die de regenerator in het koelproces speelt. Het blijkt dat aan regeneratoren van machines die volgens het proces van Stirling werken, een voorwaarde extra moet worden gesteld boven de reeds uit het werk van vroegere auteurs, o.a. Hausen, bekende voorwaarden.

2304: J. Volger: Pertes diélectriques de quelques verres et de substances similaires, mesurées aux basses températures (Annexe 1955-2, Suppl. Bull. Inst. Int. Froid, blz. 89-98).

Bij de bestudering van de diëlektrische verliezen bij lage frequenties van enige silicaatglazen en van kwartskristallen, bleken bij ca. 50 °K zg. deformatieverliezen op te treden, welke anders van aard zijn dan de verliezen die bij hogere temperaturen worden gevonden. Het verband tussen deze verliezen en de structuur van glas wordt besproken.

2305: G. Diemer: Transit-time functions of a dynatron oscillator (Appl. sci. Res. **B 4**, 457-463, no. 6).

De auteur geeft de looptijdtheorie voor een dynatron van een type waarin geen gebruik wordt gemaakt van het feit dat de coëfficiënt van secundaire emissie δ afhangt van de dynodespanning. De primaire elektronen vallen scheef op de dynode, welk op een zodanige spanning wordt gehouden dat kleine veranderingen in deze spanning grote variaties veroorzaken in de verdeling van de primaire stroom over de anode en de katode. Kiest men deze spanning bovendien zo dat δ zijn maximale waarde heeft ($\delta \gg 1$), dan kan de conductantie van de dynode negatief worden, waarvan gebruik kan

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

worden gemaakt om een oscillator te maken. De looptijdfunctie van de dynode-admittantie wordt besproken. Langs theoretische weg wordt aangetoond dat dit dynatron geschikt is voor het opwekken van cm-golven.

2306: J. A. Kok en M. M. G. Corbey: Breakdown of liquid insulating and dielectric material (Appl. sci. Res. **B 4**, 474-475, no. 6).

Voorlopige mededeling omtrent experimenten en een theorie over doorslag op lange termijn van condensatoren bij lage frequenties.

2307: J. Meltzer: Het onderzoek van acariciden en spintoviciden in het laboratorium (T. Pl. ziekten **61**, 130-142, 1955, no. 4).

Beschrijving van een onderzoek over de acaricide werking (mijtdodende werking) van een groot aantal stoffen. Deze blijken uiteen te vallen in drie groepen resp. werkzaam op de volwassen dieren, op de eieren en de larven en op alle drie de stadia. De resultaten zijn in tabellen samengevat.

2308: L. J. Tummers: Der Einfluss von Minoritätsträger-Injektionen auf das Verhalten von Leistungstransistoren (Nachr.-techn. Fachber., 1955, no. 1, blz. 31-32).

Het emissorrendement van een *P-N-P*-legeringstransistor waarbij indium als legeringselement voor het germanium wordt gebruikt, kan worden verbeterd door aan dit indium wat gallium of aluminium toe te voegen. De verbetering van het emissorrendement heeft tot gevolg dat de stroomdichtheid waarbij de stroomversterkingsfactor van de transistor gaat afnemen, wordt vergroot. Bovendien kan men van de toevoeging van gallium of indium gebruik maken bij de vervaardiging van transistors die een geringe basisweerstand moeten bezitten. Zie Philips techn. T. **18**, 20-27, 1956, no. 1.

R 281: W. L. Wanmaker en M. L. Verheyke: A thermogravimetric study on the preparation of calcium halophosphate (Philips Res. Rep. **11**, 1-18, 1956, no. 1).

Het gewichtsverlies als functie van de temperatuur werd gemeten voor de grondstoffen van met Sb en Mn geactiveerd calciumhalofosfaat, en wel voor de grondstoffen afzonderlijk zowel als voor mengsels van twee en drie hiervan en voor de complete mengsels die bij verhitting het gewenste halofosfaat opleveren. Het onderzoek verschaft inlichtingen over de dissociatietemperaturen van sommige grondstoffen en over de verandering van deze temperaturen indien ook andere grondstoffen aanwezig zijn. Ook komt men langs deze weg iets te weten over de wijze waarop sommige elementen geheel of gedeeltelijk uit de mengsels verdwijnen. Zie ook no. **R 259** van deze overzichten.

R 282: J. van Slooten: Oscillations and noise (Philips Res. Rep. **11**, 19-26, 1956, no. 1).

In het eerste gedeelte van het artikel wordt aangetoond dat er geen scherpe grens bestaat tussen orde en wanorde. Uit een wanordelijke verdeling in de tijd kan men met wiskundige of technische hulpmiddelen een ordelijke verdeling afleiden. Het behoeft derhalve geen verwondering te wekken dat men ruis en de door een oscillator opgewekte trilling vanuit eenzelfde gezichtspunt kan beschouwen.

In het tweede gedeelte worden de punten van overeenkomst en verschil tussen ruis in een smal frequentiegebied en de door een oscillator opgewekte trilling nader onderzocht. Vervolgens worden de fluctuaties in faze en frequentie van een *LC*-oscillator bestudeerd met behulp van de fazesprongmethode.

R 283: J. van den Boomgaard: Zone-melting processes for pure compounds AB with a negligible vapour pressure (Philips Res. Rep. **11**, 27-44, 1956, no. 1).

Indien een verbinding AB (in de vorm van een staaf) wordt onderworpen aan een reeks zonesmeltprocessen, verandert in het algemeen de samenstelling. Dit artikel bevat hiervan een theoretische behandeling, waarbij reacties met de damp worden verwaarloosd. Dit laatste is geoorloofd als de dampdruk van de verbinding onmeetbaar klein is. Neemt men aan dat niet alleen in de vaste, maar ook in de vloeibare faze vacatures voorkomen, dan kan men de verdelingsevenwichten van de twee soorten vacatures (nl. die waar atomen A en die waar atomen B ontbreken) beschrijven met behulp van twee verdelingsconstanten. Men kan dan uitdrukkingen afleiden voor de afwijking van de stoechiometrische samenstelling als functie van de plaats in de staaf.

R 284: A. H. Boerdijk: Technical aspects of levitation (Philips Res. Rep. **11**, 45-56, 1956, no. 1).

Bespreking van verschillende methodes om een lichaam vrij te doen zweven (levitatie), dus zonder dat enig materieel contact van het lichaam met zijn omgeving essentieel is. In verkorte vorm is dit onderwerp door dezelfde auteur behandeld in Philips techn. T. **18**, 109-112, 1956, no. 3.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

R 285: K. F. Niessen: Condition for resonance in a nearly compensated ferrimagnetic (Philips Res. Rep. **11**, 57-65, 1956, no. 1).

Afleiding van de voorwaarden voor het optreden van gyromagnetische resonantie in een kristal dat niet volledig gecompenseerd ferrimagnetisme vertoont. Aangenomen is dat voor de twee deelroosters in het kristal de totale magnetische momenten, de anisotropieconstanten en de gyromagnetische verhoudingen relatief kleine verschillen vertonen. De invloed van deze verschillen op de resonantiefrequentie wordt berekend. De uitkomst is van toepassing op een antiferromagnetisch kristal waarin een klein gedeelte van de magnetische ionen door niet-magnetische is vervangen.

R 286: B. van der Veen: The equivalent network of a piezo-electric crystal with divided electrodes (Philips Res. Rep. **11**, 66-79, 1956, no. 1).

Een piëzo-elektrisch kristal in de vorm van een plaatje, voorzien van gedeelde elektrodes, kan worden opgevat als een vierpool. Langs theoretische weg wordt voor deze vierpool een elektrisch vervangschema afgeleid, geldig voor een frequentiegebiedje gelegen om de mechanische resonantiefrequentie van het kristalplaatje. Het resultaat wordt vergeleken met een ander vervangschema, voorgesteld door Mason, Sykes, Herzog e.a.

R 287: J. Volger en J. M. Stevels: Electric polarizability of colour centres in quartz crystals and glasses (Philips Res. Rep. **11**, 79-80, 1956, no. 1).

In kwartskristallen kunnen door bestraling met energierijke straling kleurcentra ontstaan, die aanleiding geven tot het optreden van diëlektrische verliezen (zie deze overzichten no. **R 272**). Een mogelijk mechanisme ter verklaring van deze verliezen wordt voorgesteld en in verband gebracht met enige modellen voor kleurcentra die door verschillende auteurs aan de hand zijn gedaan.

R 288: A. van Weel: Error sources in group-delay measurements on electrical networks (Philips Res. Rep. **11**, 81-90, 1956, no. 2).

Oorzaken van fouten bij het meten van groeplooptijden zijn: ongewilde frequentiemodulatie in de tot de meetapparatuur behorende amplitudemodulator en in het onderzochte netwerk zelf, een variërende draaggolfspanning, en overbelasting van het onderzochte netwerk. De resulterende fouten en de middelen om ze te voorkomen worden besproken.

R 289: J. van den Boomgaard: Zone-melting processes for compounds AB with a measurable vapour pressure under influence of the atmosphere (Philips Res. Rep. **11**, 91-102, 1956, no. 2).

In deze publikatie wordt het probleem van de invloed van zonesmeltprocessen op verbindingen van het type AB, dat door dezelfde auteur reeds eerder werd behandeld (zie no. **R 283** van deze overzichten), algemener opgezet, waarbij tevens de onderstelling dat de dampdruk van de verbinding onmeetbaar klein is, wordt losgelaten.

R 290: J. M. Stevels en A. Kats: The systematics of imperfections in silicon-oxygen networks (Philips Res. Rep. **11**, 103-114, 1956, no. 2).

SiO_2-netwerken kunnen vele soorten fouten vertonen. Enige van de mogelijkheden worden besproken. Er wordt een systematiek ontwikkeld om de verschillende fouten een naam te geven, waardoor de discussie over deze fouten aanzienlijk vergemakkelijkt wordt. Deze systematiek wordt verder uitgebreid zodat zij ook voor de beschrijving van de structuur van glazen kan dienen. Naast dit „synthetische" systeem voor de nomenclatuur van de fouten, is ook een „analytisch" systeem onwikkeld. Van beide systemen worden de voordelen toegelicht.

R 291: A. Kats en J. M. Stevels: The effect of U.V. and X-ray radiation on silicate glasses, fused silica and quartz crystals (Philips Res. Rep. **11**, 115-156, 1956, no. 2).

De invloed van bestraling met ultraviolette en röntgenstralen en van beschieting met elektronen op glazen, kwartsglas en kwartskristallen is systematisch onderzocht. De fouten die door de bestraling of beschieting in het netwerk ontstaan, worden besproken met behulp van een nieuw ingevoerde nomenclatuur (zie no. **R 290** van deze overzichten). Enerzijds vertonen glazen en kwartskristallen een soortgelijk gedrag, anderzijds hebben ook kwartsglas en amethist vele gemeenschappelijke eigenschappen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!